



Ana Sofia Frias David

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

Efeito Catalisador da Metodologia TRIZ na Melhoria dos Processos da Produção *Lean*

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Helena Víctorovna Guitiss
Navas, Professora auxiliar, FCT – UNL

Coorientador: Doutor António Sartal Rodríguez, Investigador
Pós-Doutorado, Universidade de Vigo, Espanha

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Virgílio António Cruz Machado
Vogais: Prof. Doutora Anabela Carvalho Alves
Prof. Doutora Helena Víctorovna Guitiss Navas



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

setembro 2017

Efeito Catalisador da Metodologia TRIZ na Melhoria dos Processos da Produção *Lean*

Copyright © 2017 Ana Sofia Frias David, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

À Professora Doutora Helena Victorovna Navas, pela sua empenhada orientação, pela sua particular dedicação e simpatia, pela sua vontade na partilha de conhecimento e pela disponibilidade ao longo deste período final do percurso académico.

Ao professor Doutor António Sartal Rodriguez, pelo acompanhamento, pela disponibilidade que teve ao longo deste período e pela partilha de conhecimento.

A todos os Professores do DEMI e da FCT, dos quais recebi os seus ensinamentos técnicos que permitiram-me evoluir e crescer como pessoa.

A todos os meus colegas e amigos que me acompanharam durante todo o meu período académico e fizeram destes anos uma experiência espetacular.

Um especial agradecimento aos meus pais pela oportunidade, paciência, apoio e dedicação constante ao longo da minha vida, à minha irmã pela motivação e cumplicidade.

Agradeço à Ângela Gonçalves por todos estes anos de amizade, pelo companheirismo e pelo apoio incansável. Por fim um agradecimento muito especial ao meu namorado Tiago Pinto, pelo apoio incondicional, pelo interesse e ajuda na revisão da minha dissertação e pela paciência inigualável.

Resumo

No panorama económico atual, a procura de soluções criativas e inovadoras para o desenvolvimento de produtos e/ou serviços assume um papel muito importante para as organizações. Esta procura deve-se à necessidade das organizações assumirem uma posição competitiva, obterem reconhecimento e satisfação do cliente face aos seus requisitos.

A aplicação de princípios e ferramentas *Lean* como identificadores de melhorias, tornou-se num paradigma dominante nas organizações, mas face aos requisitos voláteis do cliente, pode estar a enfrentar limitações crescentes nos tempos de resposta e personalização.

Neste contexto a presente dissertação pretende explorar o “como” e o “porquê” das sinergias e disfunções entre as práticas *Lean*, as ferramentas *TRIZ* e o desempenho operacional bem como responder às hipóteses formuladas. Com base em estudos de caso, é feita uma abordagem de como a *TRIZ* pode complementar as potenciais limitações em três setores de intensidade tecnológica diferentes: alta, média e baixa.

Apesar dos diferentes ambientes analisados (máquinas e aparelhos elétricos, automóveis e alimentos, respetivamente), os resultados obtidos são os mesmos: a metodologia *TRIZ* pode ser considerada como uma solução promissora para obter melhorias significativas na eficácia e eficiência dos processos realizados pela empresa.

Recorrendo a uma análise comparativa foi possível generalizar os resultados obtidos e definir face à envolvente das organizações, o comportamento a nível de desempenho, obtido com a aplicação conjunta das ferramentas *Lean* e *TRIZ*.

Deste modo, a aplicação conjunta das ferramentas da *TRIZ* e do *Lean*, têm um importante contributo para o crescimento da empresa e impulsionam o estabelecimento de uma posição significativa no mercado onde atua, além de que do ponto de vista de gestão, a presente dissertação fornece uma visão dos fatores e processos que levam à superação das divergências em ambientes cada vez mais voláteis devido às constantes mudanças de procura e às limitações no tempo de resposta das infraestruturas industriais.

Palavras-Chave – Produção *Lean*, *TRIZ*, Inovação, Estudos de Caso, Desempenho, Idealidade.

Abstract

In the current economic scenario, the search for creative and innovative solutions for the development of products and/or services plays a very important role for organizations. This demand is due to the need to assume a competitive position among the organizations, as well as the recognition and satisfaction of the customer requirements.

The application of Lean principles and tools as identifiers of improvements has become a dominant paradigm in organizations, that against of new customer requirements may be facing increasing limitations, specifically in response times and customization.

In this context, the present dissertation aims to explore the "how" and "why" of synergies and dysfunctions between Lean practices, TRIZ tools and operational performance and answer to the hypotheses formulated. Based on case studies, a discussion is made of how TRIZ can complement the potential limitations in three different sectors of technological intensity: high, medium and low.

Although the different environments analyzed (machines and electrical equipment, automobiles and food, respectively), the final results are the same, the TRIZ methodology can be considered as a promising solution to obtain significant improvements in the efficiency of the processes carried out by the company.

Using a comparative analysis, it was possible to generalize the results obtained and to define the performance behavior obtained from the association of the application of Lean and TRIZ tools.

This way, it has been demonstrated that the tools associated to TRIZ and Lean applied simultaneously, have an important contribution to the growth of the company and promote the establishment of a significant position in the market where it operates, besides from the point of view of management, the present dissertation provides an insight into the factors and processes that lead to overcoming the divergences in increasingly volatile environments, due to the constant changes of demand and the limitations in the response time of the industrial infrastructures.

Keywords - Lean Manufacturing, TRIZ, Innovation, Case Study, Performance, Ideality

Índice

1	Introdução	1
1.1.	Enquadramento e objetivos da dissertação	1
1.2.	Estrutura da Dissertação	2
2	Filosofia Lean	5
2.1.	Origem e definição da Produção Lean	5
2.2.	Princípios Lean e os Desperdícios	7
2.3.	Ferramentas Lean	9
3	Teoria da Resolução Inventiva de Problemas – TRIZ	13
3.1.	Origem e Definição da TRIZ.....	13
3.2.	Níveis de Inovação	15
3.3.	Inércia Mental	17
3.4.	Características da TRIZ.....	19
3.5.	Conceitos Fundamentais da TRIZ.....	20
3.5.1.	Sistema Técnico e Contradição.....	20
3.5.2.	Recursos e Análise de Recursos	22
3.5.3.	Idealidade de um Sistema e Padrões de Evolução.....	24
3.6.	Principais Ferramentas e Técnicas da TRIZ	27
3.6.1.	Matriz Idealidade	27
3.6.2.	Análise Substância-Campo	29
3.6.3.	Matriz de Contradições e Princípios Inventivos	35
4	Metodologia.....	37
4.1.	Modelos de Gestão Lean-TRIZ	37
4.2.	Benefícios dos Modelos de Gestão Lean-TRIZ	40
4.3.	Estrutura Metodológica.....	41
5	Estudos de Caso	45
5.1.	Estudo de Caso 1 - Sandometal.....	45
5.2	Estudo de Caso 2 – MFTE	49
5.3.	Estudo de Caso 3 – DANCAKE.....	51
6	Discussão de Resultados.....	55
7	Conclusões.....	59

Referências Bibliograficas	61
Anexos.....	67
Anexo A – Matriz de Contradições	67
Anexo B – Parâmetros Técnicos e Princípios Inventivos	73
Anexo C - Matrizes Idealidade dos Estudos de Caso	75
Anexo D - Tabelas Comparativas dos Níveis de Idealidade Obtidos.....	77

Índice de Figuras

Figura 3.1 – Etapas para Resolução de Problemas (adaptado de Navas & Machado, 2015)	15
Figura 3.2 – Perspetiva hierárquica da metodologia TRIZ (adaptado de Navas, 2013; Kubota & Rosa,2012)	20
Figura 3.3 – Fluxograma de análise de Recursos (adaptado de Navas, 2014a).....	24
Figura 3.4 – A Evolução α de um Sistema Técnico (adaptado de Savransky, 2000; Gadd, 2011).....	26
Figura 3.5 – A Evolução β de um Sistema Técnico (adaptado de Savransky, 2000; Gadd, 2011).....	26
Figura 3.6 - Diagrama Elementar do Modelo Substância-Campo (Sistema Completo) (adaptado de Navas, 2014b)	29
Figura 3.7 – Resolução de um Sistema Incompleto (adaptado de Navas,2014b).....	31
Figura 3.8 – Resolução de um Sistema Completo Insuficiente (adaptado de Navas, 2014b)	32
Figura 3.9 – Resolução de um Sistema Completo com Efeito Prejudicial (adaptado de Navas, 2014b)	32
Figura 3.10 – Solução Geral 1.....	33
Figura 3.11 – Solução Geral 2.....	33
Figura 3.12 – Solução Geral 3.....	34
Figura 3.13 – Solução Geral 4.....	34
Figura 3.14 – Solução Geral 5.....	34
Figura 3.15 – Solução Geral 6.....	35
Figura 3.16 – Solução Geral 7.....	35
Figura 5.1 – Sistema Ineficiente 1	46
Figura 5.2 – Sistema Eficiente 1 em cadeia.....	47
Figura 5.3 – Sistema Eficiente 2	47
Figura 5.4 – Sistema Incompleto.....	48
Figura 5.5 – Sistema Completo	48
Figura 5.6 – Sistema Completo com Efeito Prejudicial	53
Figura 5.7 – Sistema Completo Insuficiente ou Ineficiente	53

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Cinco níveis inventivos de Altshuller (adaptado de Navas, 2013b)	15
Tabela 3.2 - Técnica de “Pensamento de Janelas Múltiplas” (adaptado de Navas,2011)	18
Tabela 3.3 - Técnica de “Dimensão – Tempo – Custo” (adaptado de Navas, 2015b)	18
Tabela 3.4 - Notação Utilizada nos Modelos de Substância-Campo (adaptado de Marques, 2014) ...	30
Tabela 3.5 - Classes das Soluções-Padrão (Adaptado de Marques, 2014).....	33
Tabela 4.1 - Comparação da abordagem ao “valor” pelo TRIZ Plus e pelo Lean (adaptado de Navas, 2011).....	38
Tabela 4.2 - Abordagem Fluxo do valor pelo TRIZ e pelo Lean (adaptado de Navas, 2011)	38
Tabela 4.3 - Abordagem comparativa de fluxo pelos diferentes instrumentos da TRIZ Plus e do Lean (adaptado de Navas, 2011)	39
Tabela 4.4 - Abordagem Pull pelo TRIZ e pelo Lean (adaptado de Navas,2011)	39
Tabela 6.1 - Tabela Comparativa Geral dos Estudos de Caso.....	57
Tabela A.1 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 1-20 vs. Resultados Indesejados 1-13) (Adaptado de Altshuller, 2001).....	67
Tabela A.2 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 1-20 vs. Resultados Indesejados 14-26) (Adaptado de Altshuller, 2001).....	68
Tabela A.3 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 1-20 vs. Resultados Indesejados 27-39) (Adaptado de Altshuller, 2001).....	69
Tabela A.4 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 21-39 vs. Resultados Indesejados 1-13) (Adaptado de Altshuller, 2001).....	70
Tabela A.5 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 21-39 vs. Resultados Indesejados 14-26) (Adaptado de Altshuller, 2001).....	71
Tabela A.6 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 21-39 vs. Resultados Indesejados 27-39) (Adaptado de Altshuller, 2001).....	72
Tabela B.1 - Parâmetros Técnicos ou de Engenharia segundo a TRIZ (adaptado de Navas, 2013b).73	
Tabela B.2 - Princípios Inventivos da TRIZ (adaptado de Navas, 2013b).....	74
Tabela C.1 - Matriz Idealidade Inicial do Estudo de Caso Sandometal	75
Tabela C.2 - Matriz Idealidade Após a Aplicação das Ferramentas Lean-TRIZ do Estudo de Caso Sandometal	75
Tabela C.3 - Matriz Idealidade Inicial do Estudo de Caso MFTE	75
Tabela C.4 - Matriz Idealidade Após a Aplicação das Ferramentas TRIZ do Estudo de Caso MFTE .	76
Tabela C.5 - Matriz Idealidade Inicial do Estudo de Caso Dancake	76
Tabela C.6 - Matriz Idealidade Após a Aplicação das Ferramentas TRIZ do Estudo de Caso Dancake	76
Tabela D.1 - Tabela Comparativa Setor Tecnológico vs Dimensão.....	77

Tabela D.2 - Tabela Comparativa Nível de Lean vs Setor Tecnológico.....	77
Tabela D.3 - Tabela Comparativa Nível de Lean vs Dimensão da Empresa.....	77
Tabela D.4 - Tabela Comparativa Nível de Lean vs Número de Intervenientes no Processo.....	78
Tabela D.5 - Tabela Comparativa Setor Tecnológico vs Número de Intervenientes no Processo.....	78
Tabela D.6 - Tabela Comparativa Dimensão da Empresa vs Número de Intervenientes no Processo	78

Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

ASC – Análise Substância-Campo

FN – Função Nociva

FP – Função Primária

FU – Função Útil

HVLV – *High Volume Low Variety*

JIT – *Just-In-Time*

LM - *Lean Manufacturing*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

PME – Pequena e Média Empresa

TPS – *Toyota Production System*

TRIZ – *Teoriya Resheniya Izobretaleskikh Zadatch*

TRIP - Teoria da Resolução Inventiva de Problemas

WIP - *Work-In-Process*

1 Introdução

O presente capítulo tem como finalidade o enquadramento do tema na presente dissertação “Efeito Catalisador da Metodologia *TRIZ* na Melhoria dos Processos da Produção *Lean*” apresentando os seus objetivos e estrutura da dissertação.

1.1. Enquadramento e objetivos da dissertação

Ao longo dos últimos 30 anos, o aumento da competitividade no ambiente empresarial tem direcionado a atenção na eficiência organizacional para o desempenho do negócio. Isso ajudou a popularizar teorias de gestão, como a Produção *Lean*, uma abordagem sistemática para eliminar atividades sem valor, por meio de melhoria contínua (Womack & Jones, 2003).

No entanto, os desenvolvimentos recentes do mercado, com mudanças de preferência mais frequentes com altos níveis de personalização, e uma crescente procura social de sustentabilidade ambiental, forçaram as empresas a ir além da adoção de filosofias de gestão com base exclusivamente em critérios de eficiência. Hoje, mudanças repentinas nas preferências, ciclos de vida de produtos mais curtos e desafios ambientais também devem ser consideradas.

Em ambientes tão voláteis e de alta personalização, parece difícil para os princípios e ferramentas da Produção *Lean*, que foram concebidos para ambientes de alto volume e baixa variedade (*HVLL*) (Liker, 2003), adaptarem-se de forma rápida e eficaz (Cusumano, 1994; Maccoby, 1997; Suzuki, 2004; Cox & Chicksand, 2005; Moyano-Fuentes & Sacristán-Díaz, 2012). Vários autores (Prince & Kay, 2003; Yao & Carlson, 2003; Narasimhan et al., 2006; Browning y Heath, 2009) exigem um sistema mais ágil, enfatizando que a aplicação sistemática da padronização da produção (Cusumano, 1994; Hines et al., 2004) ou *‘just in time’* (Danese et al., 2012; Bortolotti et al., 2013) reduz a flexibilidade do negócio.

Embora as práticas de *Lean* tenham sido associadas ao alto desempenho de empresas em termos de produtividade, qualidade e segurança no trabalho (Womack & Jones, 2003; Shah & Ward, 2003), na verdade ainda há um longo caminho para implementar essas práticas em *PMEs* e atividades de apoio na cadeia de valor. Esta avaliação não significa, no entanto, que o pensamento *Lean* possa estar a enfrentar limitações crescentes para lidar com os novos requisitos do cliente em termos de tempos de resposta, personalização e preocupações ambientais. De fato, algumas dessas limitações já foram usadas para justificar novos paradigmas na gestão de operações (Hines et al., 2004, Hallgren & Ollagher, 2009).

Desta forma, muitos analistas consideram que as práticas *Lean* precisam ser reavaliadas à luz dos novos requisitos do mercado e confiar em novas tecnologias e novos procedimentos, como a inovação sistemática, para enfrentar os novos requisitos do cliente.

A Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (*TRIZ*) é considerada como a metodologia de pensamento criativo mais compreensiva e organizada. A sua utilização nas organizações traz vários

benefícios, como o aumento na produtividade criativa ou a capacidade de aferir produtos e processos futuros, a partir da evolução dos sistemas tecnológicos (Livotov, 2008).

Tendo por base estes pressupostos, a presente dissertação tem como objetivo responder às hipóteses formuladas, aprofundando o conhecimento, de forma a obter uma melhor visão, relativamente aos estudos e aplicações efetuadas na utilização conjunta das ferramentas *Lean* e *TRIZ*, bem como identificar se existem desafios para o *Lean*, considerando as recentes tendências do mercado e como melhorar a sua aplicação em conjunto com ferramentas da metodologia *TRIZ*, a fim de alcançar a excelência operacional.

1.2. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é composta por 7 capítulos:

1. Introdução;
2. Filosofia *Lean*;
3. Teoria da Resolução Inventiva de Problemas – *TRIZ*;
4. Metodologia;
5. Estudos de Caso;
6. Discussão de Resultados;
7. Conclusões;

A parte final inclui ainda as Referências Bibliográficas e os Anexos.

Inicia-se o primeiro capítulo pela Introdução, onde se encontra descrito o Enquadramento e os Objetivos da Dissertação e a Estrutura da Dissertação.

Nos dois capítulos procedentes são aprofundados os temas principais que servem de suporte a toda a análise efetuada. Pelo facto da presente dissertação, abordar um número considerável de temáticas essenciais, optou-se pela divisão de conteúdos entre o segundo capítulo – “Filosofias *Lean*” - e, seguidamente, o terceiro capítulo – “Teoria da Resolução Inventiva de Problemas – *TRIZ*”. Inicialmente é descrita a origem e definição de cada conceito e posteriormente, são analisados os principais conceitos inerentes a cada tema, bem como, as metodologias e ferramentas mais significativas para a investigação.

No quarto capítulo é apresentada a metodologia, fundamentada numa revisão de literatura relativa a Modelos de Gestão *Lean-TRIZ* e Benefícios dos Modelos de Gestão *Lean-TRIZ*, sendo posteriormente propostas hipóteses de validação com os estudos de caso analisados.

No quinto capítulo é efetuada uma análise a estudos de caso de três empresas distintas, onde se aborda a sua descrição e história em Portugal, as metodologias aplicadas e os resultados obtidos.

No sexto capítulo é apresentada a discussão de resultados, bem como uma análise crítica sobre o trabalho realizado na dissertação.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões relativas ao estudo realizado.

2 Filosofia *Lean*

O presente capítulo tem como propósito a revisão bibliográfica realizada relativa à filosofia *Lean*. Numa primeira fase é exposto o enquadramento histórico, e posteriormente, apresentados os fundamentos e princípios *Lean*, bem como as ferramentas utilizadas na aplicação desta filosofia.

2.1. Origem e definição da Produção *Lean*

O *Lean*, também denominado *Toyota Production System (TPS)* foi desenvolvido por *Taiicho Ohno*, *Shigeo Shingo* e *Eiji Toyoda* e surgiu na *Toyota Motor Corporation* na fabricação de carros, como uma alternativa ao tradicional método de produção em massa e ao processamento em lotes, de forma a maximizar a eficiência operacional, qualidade, rapidez e custo (Holweg, 2007).

A solução encontrada por *Henry Ford*, para ultrapassar a incapacidade de as empresas satisfazerem a procura, durante a revolução industrial, foi o conceito de produção em massa. Esta solução permite elevadas taxas de produção por trabalhador, disponibilizando produtos a um valor mais baixo. O objetivo da produção em massa é antecipar, reduzir e eliminar todas as atividades que resultem em custos adicionais (Duguay et al., 1997). No entanto, as expectativas dos clientes deixaram de ser apenas a qualidade, o preço baixo e fácil acessibilidade, sendo agora a variedade também um requisito. Contudo, com a utilização de sistemas de produção em massa, este último era dificilmente alcançável (Womack & Jones, 1996).

Face ao aumento da produção em massa, a oferta de produtos aumentou exponencialmente sobrepondo-se à procura existente no mercado. Este facto fez com que as organizações adotassem novas estratégias de venda dos seus produtos. As organizações implementaram medidas para se manterem ou para se tornarem mais competitivas. Essas medidas passavam por eliminar os desperdícios, produzir de acordo com a procura do cliente e apostar na inovação e na melhoria contínua. Para que isto seja possível, as empresas necessitam de eliminar atividades que não acrescentem valor, de modo a tornar os processos mais eficientes (Womack & Jones, 1996).

Essencialmente, a produção *Lean* é uma forma sistemática de abordagem que visa a eliminação de todo o desperdício (atividades que não acrescentam valor ao produto final), através da implementação transversal do pensamento de melhoria contínua (Jacobs et al., 2006). Segundo Nogueira (2010), para além de reduzir o desperdício e as ações que não acrescentam valor, para uma implementação eficaz torna-se também necessário estabelecer uma ligação entre todas as etapas que contribuam com valor.

Qualquer organização tem como pretensão tornar-se competitiva no mercado através da sua própria gestão, metodologias e tecnologia, de modo a diferenciar-se dos seus concorrentes e a melhorar continuamente os seus processos (Demeter & Matyusz, 2011). Com a implementação da gestão da produção *Lean* numa organização implica metade do esforço humano, metade do espaço de

produção, metade do investimento em ferramentas e metade das horas de engenharia para desenvolver um produto em metade do tempo, ou seja, fazer mais com menos. Além disso, requer menos de metade do stock necessário no posto de trabalho, melhores resultados e produção de uma maior e sempre crescente variedade de produtos (Womack, et al. 1990).

Womack & Jones (2005) referem que o conceito de *Lean* deve ser transversal a todas as áreas da organização, dando prioridade às áreas onde se verifica o maior desperdício. Assim, existem maiores oportunidades de melhorias, traduzindo-se num impacto substancial na organização, seja a nível de custos ou sistemas de produção.

A implementação do conceito *Lean* apresenta um impacto significativo, sendo considerado por muitos o sistema de produção mais apropriado para se obter lucro e ser competitivo em relação a outras organizações (Womack & Jones, 1996).

Uma vez que a filosofia *Lean* apresenta um papel essencial na melhoria contínua de um sistema produtivo, importa abordar os pilares principais que apresentam a sustentabilidade desta filosofia (figura 2.1).

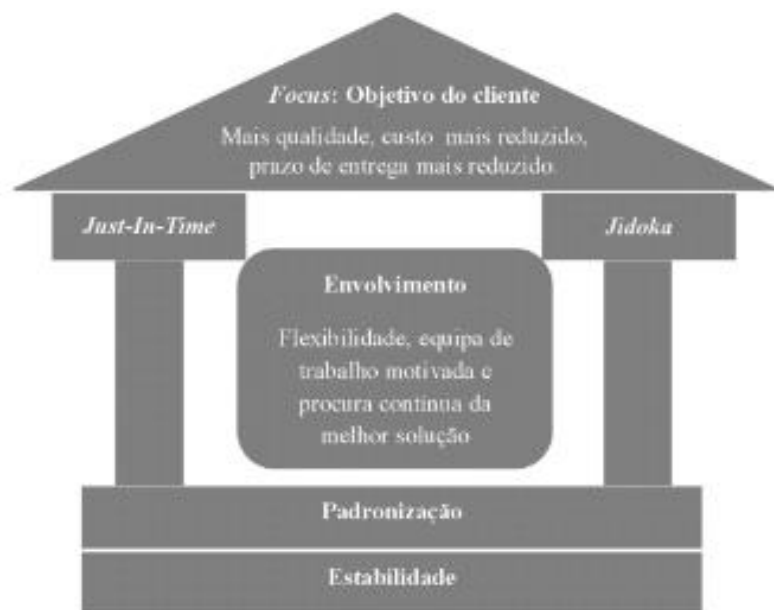


Figura 2.1 – O sistema de produção *Lean* (adaptado de Dennis (2007))

Segundo Dennis (2007), o sistema de produção *Lean* é definido do seguinte modo:

1. **Base** (do sistema): Estabilidade e padronização. Não há melhoria i) sem estabilizar os 4M's, ou seja, o homem/mulher (*Man*), a Máquina, os Materiais e o Método; ii) sem manter a implementação do método 5S (*Sustain*); e iii) sem padronizar o trabalho (*Standardize*).
2. **Dois Pilares** (do sistema): *JIT* e *Jidoka*.

- *JIT* significa produzir o produto certo no momento certo, na quantidade certa. Esta filosofia baseia-se em algumas regras:
 - i) Produzir apenas o que o cliente pediu;
 - ii) Nivelar a procura para que o trabalho possa progredir de um modo contínuo;
 - iii) Associar todos os processos à procura do cliente usando ferramentas visuais simples (e.g. Kanbans);
 - iv) Maximizar a flexibilidade de pessoas e máquinas.
- *Jidoka* foi o termo utilizado pela *Toyota* para designar o conceito “automação com toque humano”. O conceito fornece ao operador ou à máquina autonomia para que seja capaz de parar o processo logo que é detetada uma anomalia. A ideia que está subjacente a este conceito é evitar a geração e propagação de defeitos, reduzindo ou, se possível, eliminando anomalias nos fluxos de processamento e de produção.
- 3. **Envolvente:** baseia-se na participação dos elementos da equipa de trabalho. Os supervisores e os gestores têm um papel fundamental na sua implementação. Devem sustentar e apoiar o desenvolvimento e a participação de todos os trabalhadores, pelo que este conceito deve ser gerido tal como o é a produção ou a qualidade.
- 4. **Telhado** (do sistema): último módulo da sistema de produção *Lean*. Está relacionado com a importância que é necessário dar ao cliente, o que significa entregar ao cliente produtos de elevada qualidade, ao menor custo possível e num período de tempo reduzido.

O *Lean* traduz-se, assim, num conjunto de princípios e técnicas que se integram num sistema único, pessoas, processos e tecnologia, num procedimento contínuo e coordenado, de crescente melhoria de qualidade e, sempre, na tentativa de alcançar a perfeição.

2.2. Princípios *Lean* e os Desperdícios

Womack & Jones (1996) sugerem cinco princípios fundamentais para a implementação do *Lean* numa organização. Estes princípios são definidos e descritos como:

1. **Valor** – a definição de “valor” é considerada como ponto de partida, visto que numa fase inicial é importante identificar o valor de um produto/serviço específico, com potencialidades específicas. Womack & Jones (1996) referem que é fundamental a comunicação entre clientes e fornecedores, de forma a determinar as especificações, características e o preço do produto. O valor é definido pelo cliente final e cabe às empresas determinarem quais são as necessidades dos clientes (pois são estas necessidades que geram valor), procurar satisfazê-las e cobrar, por isso, um preço específico, a fim de o negócio ser viável à empresa. Isto, tendo sempre por foco, a melhoria contínua dos processos, a redução de custos e a melhoria da qualidade.

2. **Mapeamento da cadeia de valor** - segundo Womack & Jones (1996), uma cadeia de valor é a identificação de todas as ações específicas necessárias para produzir um determinado produto, e, conseqüentemente, os desperdícios existentes no sistema de produção. Isto significa analisar a cadeia de valor e separar os processos em três tipos: aqueles que efetivamente geram valor; aqueles que não geram valor, mas são vitais para a manutenção dos processos/atividades e para a qualidade e, por último, aqueles que não agregam valor, devendo, estes últimos, ser eliminados prontamente. Desta forma, torna-se extremamente importante que as organizações alterem os comportamentos que as levam a olhar para a sua cadeia de valor apenas centrada na redução de custos, ao invés de uma articulação com análises de criação de valor.
3. **Criação de um fluxo de valor** - após a identificação do primeiro e segundo princípios, é necessário criar um fluxo contínuo de produção, que é caracterizado por produzir o que é necessário, quando necessário e em pequenos lotes, eliminando os desperdícios associados (Womack & Jones, 1996). Desenhar o fluxo de valor através de etapas e dar fluidez aos processos e às atividades que subsistiram ao princípio anterior. No entanto, tal exige uma mudança na mentalidade das pessoas, pois a constituição de um fluxo contínuo entre etapas é uma tarefa difícil neste processo. Como consequência destas alterações, pode ser sentido um efeito imediato na redução de tempos, o que atribui à empresa, a capacidade de responder às necessidades dos clientes quase que de forma instantânea.
4. **Implementação de uma produção pull** - permite que a produção só ocorra quando o cliente faz um pedido. Com isto, apenas é produzido o que é necessário, reduzindo o *Work-In-Process (WIP)* e o nível de *stock* junto das estações de trabalho (Womack & Jones, 1996). Desta forma, é possível inverter o fluxo produtivo: as empresas não necessitam de empurrar os produtos/serviços para o consumidor (através de campanhas, por exemplo), passando a ser o consumidor/utilizador a “puxar” o fluxo de valor criado anteriormente.
5. **Procura pela perfeição** - Procurar a perfeição de forma contínua, conforme se vão removendo os desperdícios existentes. Este quinto e último princípio, deve ser um objetivo presente na mentalidade de todos os envolvidos na cadeia de valor. A procura pelo aperfeiçoamento contínuo, em direção a um estado perfeito, deve orientar todos os esforços de uma organização na conquista de processos/atividades transparentes e onde se pode dialogar e procurar continuamente melhores formas de criar valor.

Um dos conceitos chave e principal objetivo da filosofia *Lean* é a eliminação dos desperdícios em qualquer fase do processo produtivo. Estes desperdícios podem ser definidos como uma atividade que consome recursos, e não acrescenta qualquer valor. De forma a compreender este conceito, Ohno (1988) identifica os sete tipos de ‘muda’:

1. **Excesso de Produção** – Considerado pela *Toyota* um dos maiores desperdícios possíveis de acontecer, sendo que este ocorre quando a produção é superior à encomenda do cliente ou de aquilo que é necessário. Matérias-primas, ocupação do armazém com stocks elevados, utilização de meios de transporte e toda a mão de obra envolvida implicam um grande esforço por parte da organização, que apenas se traduz em desperdício.
2. **Stock** – Inventário de recursos materiais em excesso, ou seja, quando não são necessários por parte do cliente ou processo. São vários os problemas encobertos na tentativa de reduzir o nível de *stock*, como a ocorrência de avarias, fraca organização e arrumação, longos *setups* e transportes, entre outros (Suzaki, 2010).
3. **Transporte** – Deslocações dos operadores que não acrescentam valor, transporte desnecessário de material, informação ou duplo manuseamento por parte dos operadores no espaço fabril. Considerar a implementação de melhorias no *layout*, arrumação, organização dos postos de trabalho e coordenação entre processos levará à redução e eliminação deste desperdício.
4. **Tempos de espera** – Tempo despendido por parte dos colaboradores na espera por informação, autorização ou materiais.
5. **Sobre processamento** – Excesso de operações que consomem recursos de forma desnecessária, no momento em que não são preenchidos os requisitos adequados por parte dos clientes ou falha na comunicação relativamente às instruções de trabalho.
6. **Deslocação** – Resultado de movimentos de pessoas que não acrescentam valor ao produto. Práticas de trabalho incorretas, disposição de materiais ou ferramentas de trabalho mal posicionadas são algumas das causas que dão origem a este tipo de desperdício.
7. **Defeitos** – No momento em que ocorre um tipo de defeito num posto, existem desperdícios de espera nos postos dos operários seguintes. Para reduzirmos este tipo de desperdício, que aumenta os custos do produto e *lead time* à produção, é necessário um método de identificação dos defeitos e da sua natureza.

2.3. Ferramentas Lean

No âmbito da eliminação e redução dos desperdícios, existem ferramentas *Lean* que poderão ser implementadas, destacando-se seguidamente aquelas que foram estudadas e implementadas no estudo de caso.

Metodologia 5S

A metodologia 5S foi desenvolvida no Japão e trata-se de uma ferramenta orientada para um ambiente de trabalho mais organizado (Womack et al., 2003). Riani (2006) identifica os principais objetivos da metodologia mencionada como:

- Melhoria do ambiente de trabalho e atendimento ao cliente;
- Melhoria na qualidade de vida dos colaboradores;
- Melhoria na qualidade dos produtos/serviços;
- Melhoria a nível de *layouts*;
- Melhoria no aproveitamento dos recursos disponíveis.

A designação 5S resulta do acrónimo de cinco termos japoneses: *Seiri* (triagem), *Seiton* (arrumação), *Seiso* (limpeza), *Seiketsu* (normalização) e *Shitsuke* (disciplina). Estes termos/sensos são apresentados como (Riani, 2006):

1. **Triagem** - Verificação de todos os produtos e materiais necessários na área de trabalho, mantendo apenas os essenciais, permitindo assim a diminuição dos obstáculos à produtividade;
2. **Arrumação** - Refere-se à disposição dos produtos e materiais numa ordem que permita o fluxo de trabalho, de forma a manter um espaço organizado, possibilitando a eliminação de movimentos desnecessários;
3. **Limpeza** - Designa a necessidade de manter o espaço de trabalho o mais limpo possível;
4. **Normalização** - Criar normas que todos devem cumprir. Tudo deve ser devidamente documentado, sendo a gestão visual fundamental para facilitar o entendimento de cada norma;
5. **Disciplina** - Manutenção e revisão dos padrões implementados.

Gestão Visual

A gestão visual é uma ferramenta com a capacidade de identificar, em tempo real, o estado do sistema (Pinto, 2009). Com foco em facilitar a comunicação visual de informação no decurso dos processos, regras de trabalho, manutenção e movimentações, é fortemente sugerida a difusão para todos os processos ou atividades dentro do ambiente de trabalho (Hall, 1987).

Hall (1987), apresenta os seguintes objetivos para a gestão visual:

- I. A informação visual deve ser clara e simples, para que não existam várias interpretações diferentes entre os colaboradores;
- II. Permitir uma maior autonomia dos operários e, desta forma, fazer com que se sintam responsáveis pela tomada de decisões;

III. Facilitar a comunicação entre chefia e operadores;

IV. Partilha de informação fundamental entre os vários níveis da estrutura organizacional.

A Gestão Visual, por vezes também referida como controlo visual, é um processo que apoia o aumento da eficiência e eficácia das operações, tornando as coisas visíveis, lógicas e, acima de tudo, mais intuitivas. Muitas empresas recorrem à gestão visual para tornar os processos mais simples, menos dependentes de sistemas informáticos e de procedimentos formais (Pinto, 2009).

Padronização do Trabalho

Padronização do Trabalho é um conceito de elevada importância da filosofia *Lean*, sendo responsável pela uniformização de processos, possibilitando um fluxo contínuo de produção, identificando e criando tarefas “sólidas” que acrescentam valor ao produto e otimizam o desempenho de toda a respetiva sequência de tarefas.

Segundo a *Productivity Press Development Team* (2002), o trabalho padronizado tem de ser específico e científico, assente em factos e análises, não em rotinas, pressupostos ou antigos procedimentos e é capaz de criar um ponto-chave, *checkpoint*, que deve de ser respeitado e consecutivamente utilizado.

Sem a Padronização, o risco de existir uma grande variabilidade e complexidade de métodos de trabalho está fortemente presente. Posteriormente, este facto dá origem a uma necessidade de repetição de trabalho já realizado, maior ocorrência de defeitos e redução da qualidade e segurança do ambiente de trabalho (Kim et al., 2007). Esta procura pela diminuição da variabilidade dos processos, aspeto fundamental do *TPS*, conduz a melhorias na previsão do *output* de cada processo definido pela sequência das tarefas de trabalho, de maquinaria e materiais a serem utilizados. Por sua vez, estas sequências, devem estar bem definidas e inteiramente compreendidas por todos os colaboradores, que por sua vez, acrescentam um auxílio à rotatividade, substituição e/ou formação entre os vários postos de trabalho.

Overall Equipment Effectiveness (OEE)

O *OEE* é uma métrica quantitativa para medir e analisar a produtividade de uma linha de produção, sendo um indicador de desempenho, mas que também indica oportunidades de melhorias. Esta métrica é constituída por três grandes componentes: disponibilidade, eficiência de desempenho e a taxa de qualidade (Huang et al., 2002).

Segundo *Nakajima* (1998) as principais perdas de equipamento são:

1. Falha/avaria

2. Ajustamentos/ *setups*

3. Ocorrência de pequenas paragens

4. Redução da velocidade

5. Baixo rendimento

6. Perdas de qualidade

Tsarouhas (2013) considera as perdas 1 e 2 como perdas de tempo de inatividade, que são utilizadas para o cálculo da percentagem de utilização dos equipamentos. No entanto, as perdas 3 e 4 vão definir a performance dos equipamentos. Por fim, as últimas duas perdas constituem a taxa de qualidade. Os três componentes são definidos do seguinte modo:

- $Disponibilidade = \frac{\text{Tempo de carregamento} - \text{Tempo inatividade}}{\text{Tempo de Carregamento}}$
- $Eficiência = \frac{\text{Quatidade processada} \times \text{Tempo de ciclo atual}}{\text{Tempo operacional}}$
- $Qualidade = \frac{\text{Quantidade processada} - \text{Quantidade de produtos defeituosos}}{\text{Quantidade processada}}$

A multiplicação destes três componentes referidos, contribuem para a determinação do valor da *OEE*.

3 Teoria da Resolução Inventiva de Problemas – TRIZ

O presente capítulo tem como propósito a apresentação da pesquisa e revisão bibliográfica realizada sobre a ferramenta inovadora, de geração de soluções para a resolução de problemas, especificamente a *TRIZ*. Será efetuada uma abordagem ao surgimento da metodologia *TRIZ*, os seus princípios e características, bem como estudadas algumas ferramentas/técnicas inerentes aos conceitos.

3.1. Origem e Definição da TRIZ

A **Teoria da Resolução Inventiva de Problemas** ou mais correntemente denominada pelo acrónimo russo *TRIZ* (*Teoriya Resheniya Izobretaleskikh Zadatch*) ou por *TIPS* (*Theory of Inventive Problem Solving*), é uma metodologia especialmente apropriada para a resolução de problemas nas áreas da ciência e de engenharia (Navas, 2014), foi desenvolvida por *Genrich Altshuller* a partir de 1946, na ex-URSS e tem estado em constante evolução desde então (Savransky, 2000).

Genrich Altshuller nasceu em 1926 e é considerado o criador da metodologia *TRIZ*. *Altshuller*, ao analisar, em conjunto com outros investigadores, aproximadamente 2,5 milhões de patentes russas, identificou um padrão na forma como os problemas eram resolvidos e que deveria ser contemplado nas teorias elaboradas pelos mesmos (Savransky, 2000). Foi esta análise que permitiu concluir que a maioria das patentes avaliadas eram provenientes de melhorias de sistemas ou produtos já criados e, apenas uma reduzida parte, correspondia a algo realizado de origem, ou de certa forma, novas invenções (Li & Huang, 2009; Fresner et al, 2010).

Tradicionalmente a inovação era esporádica, não tendo carácter sistemático e considerada como accidental ou uma obra do acaso. *Altshuller* em 1956, ao lançar o seu primeiro artigo de nome “*Psychology of Inventive Creativity*”, criou uma revolução relativamente a essa visão, referente aos estudos do processo criativo. Para além disto, *Altshuller* definiu ainda, determinados princípios e ferramentas por considerar que os sistemas evoluíam segundo padrões e não de forma irregular como se poderia aferir. Deste modo, revelou que mais de 90 % dos problemas que os engenheiros enfrentavam já tinham uma solução previamente definida noutra área, assumindo, desta forma, que muitas das resoluções de problemas derivam do conhecimento já obtido noutro momento, ou mais concretamente, noutra organização (InnoSkills, 2009).

Ao longo dos últimos 50 anos, a *TRIZ* ainda se encontra numa fase de crescimento, devido a questões políticas e económicas vividas na antiga União Soviética, que não permitiram o seu progresso até à presente data. Contudo, verifica-se que atualmente se tornou num conjunto de ferramentas poderosas que permitem criar/inventar e resolver problemas técnicos com diferentes níveis de complexidade (Krasnoslobodtsev, 2012).

Houve a necessidade de moldar a *TRIZ*, quer fosse para uma aprendizagem mais simples, quer fosse para uma melhor aplicação em larga escala. A década de 90 veio a revelar-se crucial neste aspeto e assistiu ao aparecimento gradual de uma bibliografia mais diversificada com a criação de artigos sobre o tema, tornando-a desta forma acessível a todas as grandes indústrias a nível mundial, e para o seu estudo a nível académico também este a nível mundial (Altshuller, 2004). Ao mesmo tempo começaram também a ser criados os primeiros softwares para aplicação da *TRIZ*, com interfaces de fácil utilização, onde se podiam consultar as bases de dados, que fazem parte de uma ferramenta desta metodologia (Savransky, 2000).

A *TRIZ* consiste numa tecnologia disruptiva que demonstra que as habilidades de ser criativo e inovador podem ser aprendidas. Esta mudança de paradigma é de considerável importância para melhoria da eficácia de indivíduos e organizações no desenvolvimento de produtos, bem como na gestão. O conhecimento da *TRIZ* pode ser benéfico para qualquer segmento da população. A *TRIZ* é um amplificador natural do talento, conhecimento e experiência. Todas as decisões serão melhores e mais efetivas quando aplicada esta metodologia. A *TRIZ* alterna o pensamento crítico das pessoas que aprendem e o utilizam (Savransky, 2000).

O avançar dos estudos desta teoria e a sua ampla aplicação prática, fizeram surgir diferentes abordagens sobre a mesma, por parte de grupos especializados ou investigadores. Estes avanços fizeram surgir naturalmente diferentes abordagens modernas da *TRIZ*, competindo de certa forma entre si. Hoje é possível identificar variadas ferramentas básicas da *TRIZ*, bem como outros métodos ou técnicas que se conjugam entre si para criar a inovação sistemática, como, por exemplo, o *Lean* em simultâneo com a *TRIZ* (Krasnoslobodtsev, 2012).

A *TRIZ* pode ser aplicada em diversificadas áreas, dado que tanto pode ser aplicada a um serviço como a um produto. Esta metodologia pode ser aplicada na gestão de risco, design/conceção de produtos, resolução de problemas, investigação científica, gestão de negócios, gestão estratégica, análise de causas, investigação e desenvolvimento, previsão tecnológica, planeamento educacional e, por fim, relações públicas e publicidade (Kurosawa, 2014).

Face à presença de tecnologia avançada e, consequentemente ao aumento da competitividade entre as organizações, a capacidade de resolução de problemas é crucial para a sobrevivência de pequenos e grandes negócios. Assim, a utilização do método tentativa-erro ou sessões de brainstorming não são suficientes para satisfazer as necessidades existentes (Fey & Rivin, 1997).

A utilização da metodologia *TRIZ* permite de forma sistemática e lógica alcançar soluções para determinados problemas (Figura 3.1), traduzindo-se num aumento de produtividade e inovação de produtos nas organizações (Navas, 2013a).

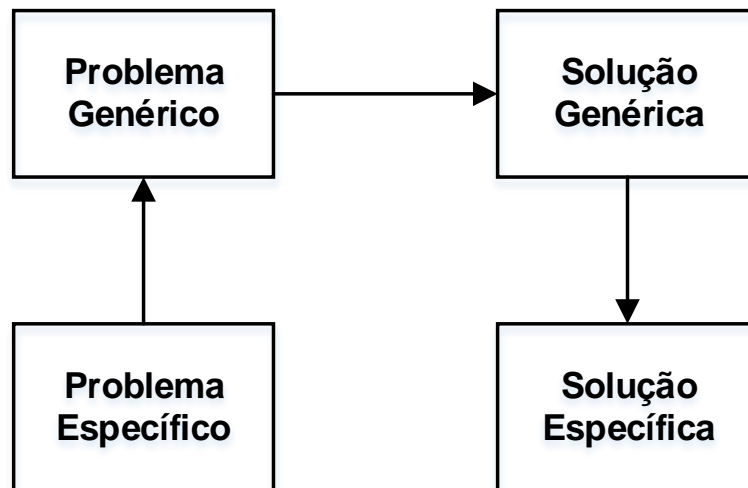


Figura 3.1 – Etapas para Resolução de Problemas (adaptado de Navas & Machado, 2015)

Segundo esta orientação, previamente, relaciona-se o problema inicial específico com um problema standard de natureza similar, embora mais “abstrato”, através de um conjunto de ferramentas de análise que irão ser abordadas no decorrer deste trabalho. Seguidamente, este problema mais genérico tem uma resolução standard através da qual é retirada, com recurso a outras ferramentas, a solução específica para o nosso problema inicial (Carvalho, 2007).

Este conceito permite gerar soluções necessárias para mudanças profundas ou soluções baseadas na aplicação de descobertas científicas radicais, onde a utilização de práticas tradicionais de engenharia e gestão podem já não produzir resultados suficientes (Savransky, 2000).

3.2. Níveis de Inovação

Genrich Altshuller, desenvolveu uma abordagem para a temática dos níveis de inovação e da sua medição, através da análise de um número significativo de patentes, mais de um milhão de patentes, concluindo que o valor inventivo de diferentes invenções não é sempre igual (Navas, 2013b), e que utilizando apenas alguns princípios de invenção se conseguia resolver a maior parte dos problemas, mesmo estando eles em campos totalmente diferentes (Navas, 2013a).

As soluções encontradas foram sistematizadas e divididas em cinco níveis, apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Cinco níveis inventivos de Altshuller (adaptado de Navas, 2013b)

Nível	Descrição	% das patentes analisadas
1	São soluções rotineiras, recorrendo a métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade	30%
2	Pequenas correções em sistemas já existentes, recorrendo a métodos conhecidos na indústria	45%
3	Melhorias importantes, que resolvem contradições em sistemas típicos de um ramo da indústria	20%
4	Soluções baseadas na aplicação de novos princípios	4%
5	Soluções inovadoras baseadas em descobertas científicas	1%

Descrição dos cinco níveis inventivos (Navas, 2014c):

Nível 1: Soluções de rotina utilizando métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade. O Nível 1 não é muito inovador.

Exemplo: Conduzir um carro de forma económica encontrando o rácio entre a velocidade e o consumo de combustível.

Nível 2: Pequenas correções em sistemas existentes recorrendo a métodos conhecidos na indústria.

Exemplo: Melhorar o perfil geométrico de um pneu de modo a garantir uma melhor tração com o piso.

Nível 3: Melhorias importantes que resolvem contradições em sistemas típicos de um dado ramo industrial, é onde surgem soluções criativas.

Exemplo: A função “ver através” baseado no princípio “emissão raio-X”, pode ser usada não apenas para motivos medicinais, mas também para outro tipo de aplicações em diferentes mercados (testes não-destrutivos em construções, sistemas de segurança em aeroportos, entre outros).

Nível 4: Soluções baseadas na aplicação de novos princípios científicos, os problemas são solucionados através da substituição da tecnologia original por uma nova tecnologia.

Exemplo: efeito fotovoltaico, microscópio de força atómica.

Nível 5: Soluções inovadoras baseadas em descobertas científicas não anteriormente exploradas.

Exemplo: Criação do raio-X, DNA e laser.

Estes níveis têm como função identificar, caracterizar os tipos de soluções encontrados e estimar o estado de desenvolvimento de um determinado sistema. Este conhecimento pode ser aplicado no exercício criativo para prever o desenvolvimento de novas direções a esse determinado sistema. Esta classificação é baseada em estudos empíricos e é muito importante para se perceber a natureza da criatividade técnica.

3.3. Inércia Mental

A inércia mental, durante o processo criativo de procura de novas ideias para a resolução de problemas, pode exercer uma influência negativa, visto depender da capacidade do utilizador e este fator ser limitador para o processo criativo (Navas & Machado, 2015). Dois indivíduos com diferentes conhecimentos poderão ter diferentes ideias sobre as medidas necessárias para resolver o mesmo problema, ou seja, um problema inventivo de uma pessoa pode ser um simples problema de rotina para outra pessoa. A inércia mental pode levar a pessoa a afastar-se da solução do problema, impedir o reconhecimento do mesmo, criar barreiras durante o processo de resolução, dificultar o processo de decisão, e tornar complexas outras fases do processo de resolução. A quantidade de tempo necessário para resolver um problema deverá refletir a complexidade e o esforço necessário para determinar quais as causas do problema e quais as etapas do processo de resolução. Para problemas complexos, o utilizador dificilmente conhece todas as variantes existentes e não consegue executar todas as etapas de teste possíveis. Assim, a inércia mental, também chamada de barreira psicológica, afeta significativamente o tempo necessário para a resolução de um problema (Santos et al., 2009).

De modo a ultrapassar a inércia mental, a metodologia *TRIZ* propõe três técnicas, que permitem que seja ampliada a visão sobre um problema e o caminho para o solucionar: pensamento de janelas múltiplas, dimensão-tempo-custo e modelação com pequenos seres inteligentes. A técnica de “Pensamento de Janelas Múltiplas”, através de uma tabela com 9 entradas (Tabela 3.2), permite representar um dado sistema. As janelas representam o supersistema, o sistema em si e subsistema, cada um deles no passado, presente e futuro. A abordagem considerada permite eliminar problemas, podendo conduzir ao desenvolvimento de soluções mais inovadores (Navas, 2015). Esta técnica analisa o sistema no passado e no presente, passando posteriormente para a construção do sistema futuro. A coluna “Futuro/ Previsão”, deve conter a previsão da evolução do sistema em análise e uma proposta do sistema futuro, sendo desta forma o preenchimento desta coluna a parte mais difícil da aplicação desta técnica. Poderá ser mais acessível iniciar pelas melhorias do futuro subsistema, ou seja, começar pelas partes mais pequenas do sistema, mais fáceis de modificar, com alterações mínimas e com gastos mínimos. Assim, a técnica de “Pensamento de Janelas Múltiplas” pode ajudar no desenvolvimento de novas propostas para o futuro de sistemas através de regras específicas de aplicação e do algoritmo do pensamento.

Tabela 3.2 - Técnica de “Pensamento de Janelas Múltiplas” (adaptado de Navas,2011)

	Passado	Presente	Futuro/ Previsão
Supersistema			
Sistema			
Subsistema			

Uma outra técnica utilizada para ultrapassar a inércia mental é a “Dimensão-Tempo-Custo”. A forma correta para utilizar esta técnica é através da realização de uma análise mental dos efeitos do aumento ou diminuição das dimensões dos parâmetros do sistema em análise, encurtando ou ampliando o tempo das operações e aumentando ou diminuindo os custos das modificações do sistema (Navas, 2015b).

Com a construção de uma tabela com três colunas (dimensão, tempo e custo) e duas linhas (aumento e diminuição), (Tabela 3.3), é possível a combinação consecutiva dos parâmetros e consequentemente o desenvolvimento de novas. Uma utilização correta desta técnica permite a exploração de novas ideias, obrigando os utilizadores a abandonarem as imposições lógicas existentes e a ultrapassarem as restrições metais (Navas, 2015b).

Tabela 3.3 - Técnica de “Dimensão – Tempo – Custo” (adaptado de Navas, 2015b)

	Dimensão	Tempo	Custo
Aumento			
Diminuição			

A técnica “Modelação com Pequenos Seres Inteligentes” representa os conflitos encontrados no sistema em análise. Esta técnica pode ajudar no desenvolvimento de novos princípios de operação, novos conceitos de projeto ou novas capacidades funcionais através de uma “luta” entre pelo menos 2 grupos de “pequenos seres”. Esta técnica ajuda a ultrapassar os conceitos existentes sobre o sistema e a eliminar as restrições mentais (Navas, 2015b).

3.4. Características da TRIZ

Segundo Savransky (2000) as características mais importantes da *TRIZ*, podem ser descritas como “uma metodologia sistemática, orientada ao ser humano, baseada em conhecimento, para a solução inventiva de problemas”.

A *TRIZ* é uma metodologia sistemática uma vez que:

- Esta característica é atribuída pela presença de modelos genéricos de procedimentos e heurísticas sistematicamente bem estruturadas, a fim de proporcionar uma aplicação eficaz das soluções conhecidas para os novos problemas.

A *TRIZ* é orientada ao ser humano uma vez que:

- As heurísticas da *TRIZ* são orientadas para utilização humana e não para o uso computacional. Para problemas que acontecem de forma repetida, é razoável usar computadores, mas segundo a *TRIZ*, quando os problemas ocorrem apenas uma vez, torna-se mais eficaz utilizar o cérebro humano, ou seja, esta metodologia é eficaz na solução conceptual de problemas, onde na atualidade e com a tecnologia disponível o computador não consegue competir com o ser humano.

A *TRIZ* é baseada no conhecimento uma vez que:

- As heurísticas de resolução de problemas genéricos são retiradas de um vasto número de patentes analisadas em todo o mundo e em distintas áreas da engenharia, e por ter como base de informação, conhecimentos das ciências naturais, da engenharia e conhecimentos sobre o domínio onde o problema ocorre. Inclui informação acerca de técnicas, sistemas e processos.

A *TRIZ* é uma solução Inventiva de Problemas uma vez que:

- Segundo Savransky (2000) a metodologia *TRIZ*, teve como base as áreas de engenharia e concebida para a resolução de uma classe específica de problemas, nas quais existem contradições, conferindo uma maior criatividade à resolução de problemas, embora tenha hoje aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento (administração, publicidade, artes) (Gadd, 2011).

Embora a *TRIZ* seja definida como uma metodologia, é possível considerá-la como uma filosofia, uma ciência ou como um estudo de excelência.

A metodologia *TRIZ* possui uma vantagem considerável sobre os outros métodos relacionados com a resolução de problemas e inovação. Métodos como o “*brainstorming*”, mapa mental, pensamento lateral, análise morfológica, etc. Estes métodos têm a capacidade de identificar um problema e a sua raiz, mas falta-lhes a capacidade de oferecer soluções para esse problema. A *TRIZ* encontra o

problema, a sua raiz e ainda nos oferece a melhor solução ou as melhores soluções para a resolução do mesmo (Gadd, 2011).

3.5. Conceitos Fundamentais da *TRIZ*

De forma geral, pode caracterizar-se a *TRIZ* como uma metodologia que proporciona métodos e ferramentas de formulação de problemas, análise de sistemas, análise de insucessos e padrões de evolução dos diferentes sistemas em análise (InnoSkills, 2009). Os sistemas técnicos, a contradição, os recursos, a idealidade e os padrões de evolução são os principais conceitos da *TRIZ*. Portanto, verifica-se que em qualquer processo de resolução deve ser aplicado um destes conceitos referidos (Carvalho, 2007) (Ilevbare et al. 2013). A Figura 3.2 apresenta uma perspetiva hierárquica da *TRIZ*.



Figura 3.2 – Perspetiva hierárquica da metodologia *TRIZ* (adaptado de Navas, 2013; Kubota & Rosa, 2012)

3.5.1. Sistema Técnico e Contradição

Segundo Savransky (2000), um sistema técnico é um objeto ou uma ação artificial, de natureza ou grau de complexidade independente, que usufrui de inputs e outputs, subsistemas e ligações que, por sua vez, são a base e o fundamento para a metodologia *TRIZ*.

Segundo Barry, Domb e Slocum et al. (2008), uma contradição aparece quando se procura melhorar alguma característica ou parâmetro, mas em contrapartida ocorre a deterioração de outra característica do sistema. Um dos conceitos fundamentais da *TRIZ* é a eliminação das contradições existentes. Sempre que há um conflito no sistema existe uma contradição (Rantanen & Domb, 2002).

A *TRIZ*, procura encontrar soluções inovadoras/criativas, eliminando a contradição através da modificação de sistemas para evitar a deterioração de qualquer característica em caso de melhoria de outras características. As inconsistências são eliminadas através da modificação de todo o sistema, ou através da modificação de um ou mais subsistemas. As patentes representam históricos de tais soluções inovadoras que possibilitaram a eliminação de contradições. Assim, ao estudar estas soluções já aplicadas, permite-se o acesso a um conjunto de possibilidades e dicas para a resolução de contradições em problemas que surjam (Marques, 2014).

É possível identificar três tipos de contradições: contradições técnicas, contradições físicas e contradições administrativas (Ilevbare et al., 2011).

Contradições técnicas, verificam-se quando há conflitos entre dois parâmetros, ou seja, a tentativa de melhorar um parâmetro prejudica o outro. Segundo *Ilevbare et al.* (2011) este tipo de contradição ocorre se:

- A criação ou intensificação de uma função útil num subsistema, traduz-se numa nova função prejudicial ou intensificação de uma função prejudicial já existente noutro subsistema.
- A eliminação ou redução da função nociva num subsistema, provoca a deterioração de uma outra função útil noutro subsistema.

Contradições físicas, verifica-se quando existem requisitos inconsistentes para a condição física do mesmo sistema. Segundo *Ilevbare et al.* (2011) este tipo de contradição ocorre quando se:

- A intensificação de uma função útil num subsistema, traduzir-se na intensificação simultânea duma função prejudicial existente no mesmo subsistema chave.
- A redução de uma função negativa no subsistema, provocar uma redução da função útil no mesmo subsistema.

Contradições administrativas, ocorrem quando se executa um processo, no qual um fenómeno indesejado acompanha um resultado desejado (Ilevbare, et al., 2011).

A identificação e análise de contradições deve ser incluída em qualquer processo de resolução inventiva de problemas segundo a *TRIZ*. Quando uma contradição é identificada, torna-se mais fácil encontrar soluções criativas e eficazes para o problema. Uma contradição não resolve problemas, mas pode ajudar a descobrir caminhos para a sua resolução. Depois das contradições identificadas, escolhe-se uma entre as duas formas de resolver problemas. A primeira abordagem da resolução de contradições baseia-se na aplicação de ferramentas analíticas da *TRIZ* adequadas para a resolução de contradições técnicas (por exemplo, os 40 Princípios Inventivos, a Matriz de Contradições, ou outras). A segunda abordagem baseia-se na transformação das contradições técnicas em contradições físicas, seguida da aplicação dos instrumentos analíticos da *TRIZ* adequados à

resolução de contradições físicas. Todas as contradições técnicas podem ser transformadas em correspondentes contradições físicas (Altshuller et al., 2002).

3.5.2. Recursos e Análise de Recursos

Depois de ter sido identificado o sistema técnico e de terem sido definidas as suas contradições, devem ser avaliados os recursos que estão disponíveis para superar a contradição. O “recurso” é definido de uma forma bastante ampla, sendo tudo aquilo que pode ser utilizado para resolver um problema e melhorar o sistema sem necessidade de despesas avultadas (Navas, 2014a).

Identificar de forma apropriada recursos é um aspeto essencial na metodologia *TRIZ*. A correta identificação de recursos pode incluir quaisquer aspetos do sistema e do ambiente que estão envolvidos. A *TRIZ* estabelece a importância em acompanhar de forma sistemática a procura por recursos, focando no entendimento dos requisitos da função da solução a ser encontrada (Gadd, 2011). Os recursos podem ser agrupados de acordo com o seguinte (Navas, 2014a):

- Recursos Naturais ou Ambientais;
- Recursos do Sistema;
- Recursos Funcionais;
- Recursos de Substâncias;
- Recursos Energéticos e de Campo;
- Recursos de Tempo;
- Recursos de Espaço;
- Recursos de Informação.

Altshuller também agrupou os recursos nas seguintes categorias:

Baseados na Acessibilidade:

- Internos (limitados aos elementos principais do sistema);
- Externos (Incluindo os recursos do meio ambiente em geral e os específicos para um dado sistema);
- Recursos do Super Sistema;
- Recursos de Baixo Custo Acessíveis (Incluindo desperdícios).

Baseados na Prontidão para a Utilização:

- Recursos Prontamente Disponíveis;
- Derivados (Recursos modificados facilmente disponíveis).

Para resolver a contradição, a *TRIZ* recomenda a utilização dos recursos existentes no sistema, pois são a base das soluções mais eficientes. A identificação desses recursos apoia o desenvolvimento de soluções possíveis e cada recurso pode ser visto como uma potencial solução para o problema. Quanto maior o número de recursos que se puderem utilizar, maior será o conjunto de soluções.

A identificação dos recursos disponíveis e a sua melhor utilização são importantes na procura de soluções com melhor relação custo/eficiência. De forma a aumentar a idealidade (através da redução dos custos de produção de recursos e redução de danos), os recursos devem ser ordenados preferencialmente da seguinte forma (Savransky, 2000):

- i) Recursos “nocivos” – identificam funções nocivas ou objetos das quais são possíveis retirar benefícios.
- ii) Recursos prontamente disponíveis – identificam recursos livres disponíveis, que podem ser utilizados no seu estado atual.
- iii) Recursos provenientes – identificam os recursos que podem ser obtidos por meio da transformação de recursos livremente disponíveis e que não são úteis nos estados existentes.
- iv) Recursos diferenciais – recursos de identidades deriváveis, onde existe diferenças na estrutura ou nas propriedades das substâncias ou campos disponíveis.

A chave da sustentabilidade é a produtividade dos recursos. A análise de recursos da *TRIZ* pode ser útil em iniciativas de inovação relacionadas com o uso mais eficiente e responsável dos recursos, incluindo o uso de energia. Os ganhos de eficiência na utilização dos recursos geralmente resultam de melhorias de processos. Assim, as iniciativas esporádicas de inovação devem evoluir para as atividades planeadas e programadas de forma contínua; a inovação deve tornar-se sistemática.

A melhoria incremental tradicional de tecnologias existentes já não é suficiente. Todas as atividades económicas precisam de aumentar radicalmente a eficiência da utilização dos recursos. A aplicação das ferramentas analíticas e das técnicas da *TRIZ* pode ser especialmente útil para a inovação radical, tanto na criação de soluções inovadoras e revolucionárias, como também na análise de recursos e na sua previsão (Navas, 2014a).

Os recursos podem ser utilizados para resolver os problemas de acordo com a Figura 3.3.

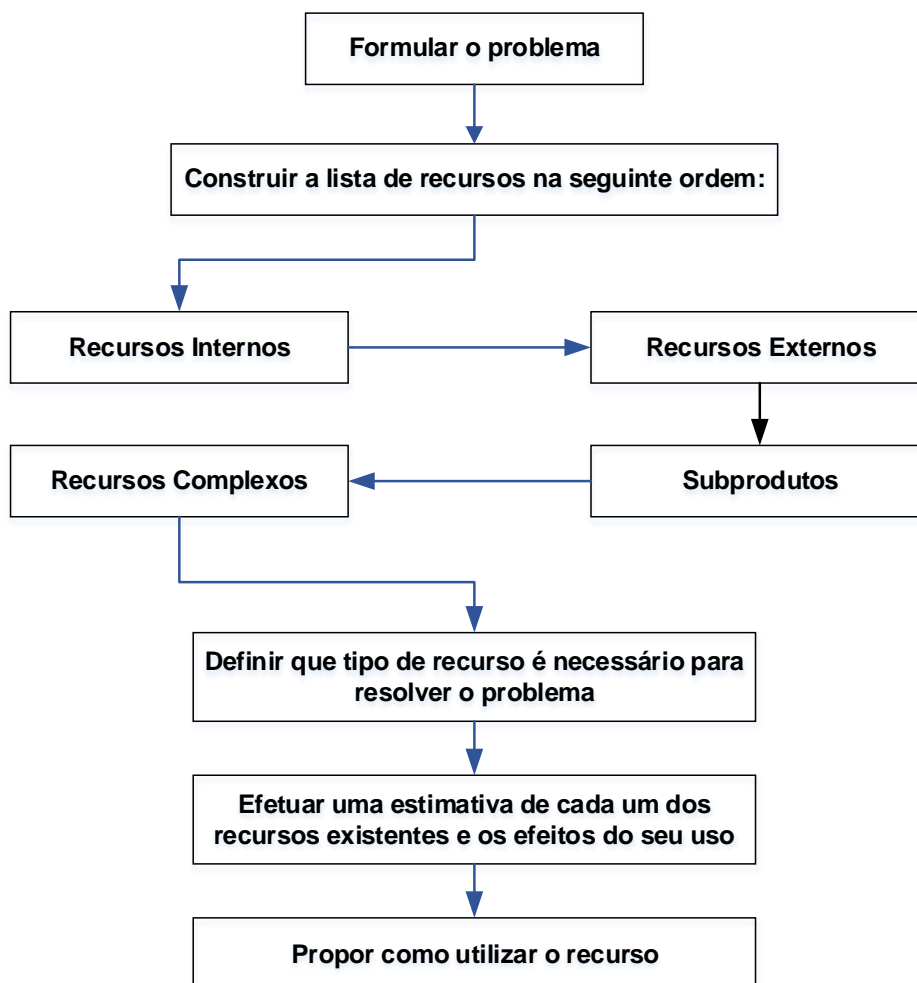


Figura 3.3 – Fluxograma de análise de Recursos (adaptado de Navas, 2014a)

3.5.3. Idealidade de um Sistema e Padrões de Evolução

Existem vários conceitos derivados do mesmo conceito de idealidade, tais como: “Resultado Final Ideal”, “Meta Final Ideal”, “Solução Ideal”, “Processo Ideal”, etc. O conceito de “Idealidade” é um dos princípios fundamentais da Teoria da Resolução Inventiva de Problemas. Para *Altshuller et al.* (1999), a idealidade revela-se numa avaliação de quão perto um sistema técnico se encontra de ser o melhor possível. A idealidade é o objetivo que move as organizações a melhorarem todos os sistemas técnicos e organizacionais, tornando-os mais rápidos, melhores e com custos inferiores. À medida que se aumenta o número de funções benéficas e/ou se reduzem as funções nocivas, sem que haja uma degradação de outras características ou aparecimento de novas características prejudiciais, os sistemas aproximam-se cada vez mais da idealidade (Altshuller, 2007).

De acordo com a *TRIZ*, o “Sistema Ideal” é um sistema que não existe fisicamente (pois não consome recursos e não tem custos) mas que executa as suas funções na perfeição. É praticamente

impossível conceber um sistema ideal. O sistema ideal é um conceito teórico, ou filosófico, que serve de incentivo e de um guia para a resolução de problemas, podendo ser útil também na avaliação e na comparação de soluções possíveis entre si e/ou com um ideal proposto. Para aproximar um sistema real do sistema ideal têm que se resolver contradições, utilizando menos recursos, minimizando e simplificando todo o sistema, sem acrescentar mais funções nocivas. É uma abordagem eficaz que ajuda a obter uma melhor funcionalidade com um sistema mais simples (Navas, 2014).

A idealidade pode ser utilizada para melhorar os sistemas existentes, mas pode também ser utilizada para a criação de novas tecnologias ou novos sistemas com o objetivo de cumprir funções específicas. A Lei da Idealidade afirma que durante a evolução de qualquer sistema (técnico ou organizacional), este tende a reduzir custos, reduzir desperdícios de energia, e a reduzir o espaço e as dimensões. Assim torna-se mais eficiente, mais confiável, mais simples e com maior capacidade de atender às necessidades dos utilizadores, ou seja, aumenta o grau de idealidade do sistema. O conceito do aumento crescente do grau de idealidade é crucial para a previsão da evolução de sistemas (Santos et al., 2009).

As conformidades identificadas nos sistemas e processos técnicos, durante o estudo intensivo das inúmeras patentes, são consideradas por *Altshuller* como padrões de evolução. Os padrões de evolução são úteis para a construção de soluções para problemas e prever a evolução futura de uma técnica (Rantanen & Domb, 2010).

Através do conceito de idealidade é possível expressar a ideia de uma técnica de evolução, usando a noção de que qualquer técnica de evolução traz o aumento da sua idealidade, uma técnica evolui no sentido de aumentar a sua idealidade de duas maneiras (Savransky, 2000):

- Evolução durante a sua vida útil para aumentar a idealidade local.

Savransky (2000), descreve como a evolução α , onde a técnica de modo de operação, (a maneira pela qual ela desempenha a sua função primária (FP)), não é alterada, mas os seus parâmetros são melhorados. Isso aumenta a sua função útil (FU) e diminui as suas funções nocivas (FN) e os custos de recursos, aumentando, assim, a sua idealidade. Quando a idealidade de uma técnica é posta em gráfico com o tempo ao longo das fases da técnica de desenvolvimento (nascimento, infância, crescimento, maturidade e declínio) uma curva em S é normalmente produzida. Para o fim de sua vida útil, a técnica de idealidade aproxima-se dos seus limites, uma vez que se torna cada vez mais difícil melhorá-la ainda mais.

A curva S pode ser combinada com outras curvas mostrando o equivalente das etapas em termos de nível de criatividade, de inovação e rentabilidade associados com o desenvolvimento da técnica (Figura 3.4).

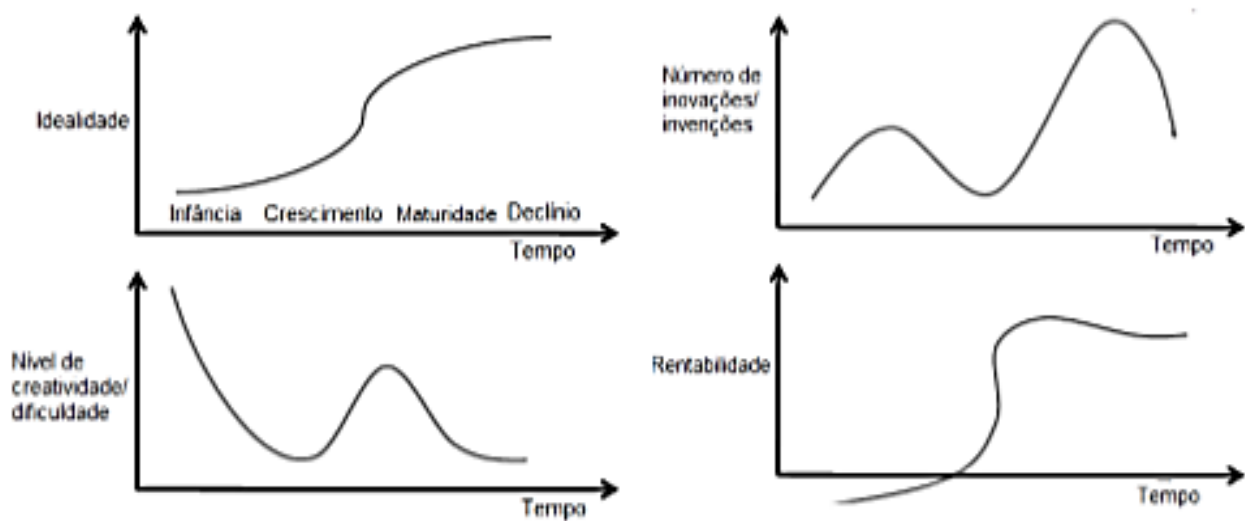


Figura 3.4 – A Evolução α de um Sistema Técnico (adaptado de Savransky, 2000; Gadd, 2011)

- Evolução pela transição para uma outra técnica.

Savransky (2000), descreve como a evolução β , que ocorre à medida que se aproxima de uma técnica que está no fim da sua vida útil, e o potencial para a melhoria da sua idealidade atinge os seus limites. Como se mostra na Figura 3.5 a transição para uma nova técnica pode ser realizada através de uma solução inventiva. A FP da nova técnica será a mesma que na anterior, mas o modo pelo qual ela é atingida será diferente. Logo desde o início, esta nova técnica pode ter, ou uma melhor idealidade do que a técnica anterior, ou uma menor idealidade com o potencial de melhorar mais rapidamente do que o sistema anterior (Savransky, 2000) e (Gadd, 2011).



Figura 3.5 – A Evolução β de um Sistema Técnico (adaptado de Savransky, 2000; Gadd, 2011)

Fundamentalmente, existem oito padrões de evolução extremamente úteis na resolução de problemas mais complexos, bem como, na previsão do desenvolvimento de sistemas e ferramentas associadas à metodologia em estudo (Rantanen & Domb, 2010). Segundo Gadd (2011), existem oito diferentes correntes que guiam uma técnica de desenvolvimento e, cada uma delas, divide-se em linhas de evolução. A descrição destes oito Padrões de Evolução, segundo Altshuller et al. (2002) é:

1. **Idealidade crescente:** Ao longo do ciclo de vida, o sistema cada vez mais vai maximizando os seus recursos e minimizando os seus efeitos nocivos.
2. **Ciclo de Vida:** Esta Lei é caracterizada graficamente com uma curva de formato tipo S, composta por vários estágios tal como: infância do sistema tecnológico, crescimento, maturidade e declínio.
3. **Desenvolvimento não uniforme de Subsistemas:** Esta lei indica que cada parte de um sistema tem a sua própria curva do tipo S, ou seja, a evolução destes componentes é diferente entre si.
4. **Dinamismo e Controlo crescente:** Qualquer sistema ao longo do seu ciclo, começa a partir de uma estrutura rígida para uma flexível, também vão se tornando progressivamente mais fáceis de monitorizar.
5. **Complexidade crescente e depois simplificação:** À medida que um sistema vai progredindo e evoluindo, torna-se cada vez mais complexo, pois o sistema acaba por acumular mais funções do que na sua infância. A partir de um certo ponto, o sistema é capaz de fazer essas funções de forma simples e mais eficiente.
6. **Multiplificação:** Esta lei indica que um sistema no início começa o seu ciclo de vida individualmente, e ao longo do tempo vai-se multiplicando. Quando sistemas similares se juntam, transforma-se num sistema homogéneo. Se não forem similares, tornam-se num sistema heterogéneo.
7. **Transição de um Sistema do nível Macro para Micro:** Ao longo do tempo os sistemas têm a tendência de se tornarem cada vez mais pequenos até atingirem um nível microscópico.
8. **Automação:** à medida que o tempo progride, o envolvimento humano decresce.

3.6. Principais Ferramentas e Técnicas da TRIZ

3.6.1. Matriz Idealidade

Segundo Savransky, (2000) a Matriz Idealidade é um indicador da evolução do sistema, que analisa ao longo do tempo, se as funções tendem a ficar mais simples, fiáveis e eficientes. A Matriz Idealidade tem como objetivo primordial ajudar na identificação dos requisitos que se revelam maioritariamente benéficos para o desenvolvimento dos processos em estudo, através de uma

análise, positiva ou negativa, das diferentes interações que ocorrem entre os mesmos requisitos (Navas, 2013b).

Tal como abordado anteriormente, a idealidade de um sistema está intrinsecamente associada à evolução dos sistemas técnicos ao longo do tempo, da qual se recomenda que exista uma análise sobre que funções técnicas são mais benéficas ao sistema quando comparadas entre si (Altshuller et al., 1999). A tentativa de quantificar a idealidade possibilita a melhoria dos sistemas técnicos e organizacionais, tornando estes mais eficientes e permitindo a redução de custos (Navas, 2014b). Já para Bligh (2006), a idealidade surge, ainda, como uma ferramenta de resolução de problemas, assim como um método de reflexão e análise de resultados.

Desta forma, a idealidade concretiza-se matematicamente através da razão entre funções benéficas e funções nocivas mais custos, representada na seguinte expressão (Ilevbare et al., 2013):

$$Idealidade = \frac{\sum \text{Funções Benéficas}}{\sum (\text{Funções Nocivas} + \text{Custos})}$$

Como funções benéficas (representadas através do sinal “+”, na Matriz Idealidade), podem ser consideradas:

- As funções principais - representam as funções que permitem o desígnio para a qual o sistema foi projetado e as funções auxiliares que apoiam as anteriores (Navas, 2014b).
- Funções secundárias – outras realizações úteis;
- Funções auxiliares – funções que apoiam as principais funções úteis, tais como funções corretivas, funções de controlo, funções de alojamento, funções de transporte.

Relativamente às funções nocivas (representadas através do sinal “-”), podem ser incluídos todos os fatores prejudiciais associados ao sistema (por exemplo, custos, área ocupada, emissão de ruídos, gastos de energia).

Assim, é possível depreender-se que quanto maior o número de funções nocivas, menor será a idealidade do sistema. Existem várias formas de aumentar a idealidade de um sistema técnico ou organizacional:

- Aumento do número de funções benéficas;
- Eliminação/redução do número de funções nocivas;
- Redução de custos.

Ao aumentar a idealidade alcança-se sistemas mais eficientes, mais confiáveis, mais simples, e com maior capacidade de resposta às necessidades exigidas.

Por fim, é ainda de realçar que a Matriz Idealidade é uma ferramenta bastante vantajosa na manutenção dos sistemas existentes, mas também, na criação de novos sistemas, em que o objetivo

primordial é assegurar ou aumentar a eficiência destes, em prol da melhoria contínua do processo (Bligh, 2006).

3.6.2. Análise Substância-Campo

A Análise Substância-Campo (ASC), do inglês *SuField Analysis*, é uma ferramenta útil para identificar problemas num sistema técnico e encontrar soluções inovadoras para esses problemas identificados. Esta ferramenta é influente na concepção de modelos funcionais e que revela, como principal objetivo, a solução de problemas regularmente presentes em sistemas tecnológicos.

A Análise Substância-Campo é reconhecida como uma das ferramentas mais úteis da metodologia *TRIZ* e permite modelar um sistema através de uma abordagem gráfica simples, onde são evidenciados os elementos mais importantes, permitindo desta forma, identificar falhas e/ou deficiências nos processos destes sistemas, bem como oferecer soluções padronizadas para a melhoria do sistema em estudo (Navas, 2014a).

O aumento da idealidade dos processos é uma das vantagens associadas a esta ferramenta, através da análise de diversos recursos e a utilização de diferentes “substâncias” e “campos” (Navas, 2014a). Um sistema, criado para desempenhar uma dada função, pode ser representado por um triângulo cujos vértices representam “substâncias” (objetos, componentes, etc.) e “campos” (ações ou interações). Uma “substância” pode ser um objeto, como por exemplo uma ferramenta. Um “campo” é a interação entre objetos que faz com que uma “substância” atue sobre outra. De forma geral, um sistema a funcionar adequadamente pode ser representado por um triângulo completo “Substância-Campo”.

Vejamos agora quando se deve utilizar a Análise Substância-Campo. A representação de um sistema técnico é frequentemente, definida através de um triângulo composto por duas substâncias (S1 e S2) e por um campo (F), como representa a Figura 3.6. As “substâncias” S1 e S2, que participam numa interação, podem ser de seguinte natureza (Navas, 2014b): material, ferramenta, componente, pessoa ou ambiente, o “Campo” F que atua sobre as “Substâncias” pode ser: mecânico, térmico, químico, elétrico ou magnético.

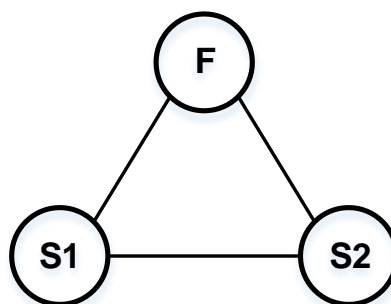






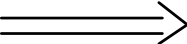




Figura 3.6 - Diagrama Elementar do Modelo Substância-Campo (Sistema Completo) (adaptado de Navas, 2014b)

Estes são os três elementos indispensáveis à resolução de um determinado problema (Gadd, 2011). A substância S1 é utilizada para representar o objeto a manipular, enquanto a substância S2, representa o meio para que tal aconteça, mais concretamente, é o modo de agir de acordo com S1, responsável por provocar benefícios ou prejuízos (Savransky, 2000).

Os problemas são representados através de diferentes tipos de linhas ou linhas inexistentes, representando exatamente o que é correto e o que é incorreto, conforme descrito na Tabela 3.4 onde é ilustrada a notação para a construção dos modelos Substância –Campo. Esta notação visa representar as relações existentes entre as substâncias em análise e que mudará consoante o desenvolvimento do sistema.

Tabela 3.4 - Notação Utilizada nos Modelos de Substância-Campo (adaptado de Marques, 2014)

Símbolos	Significado
	Conexão (normal)
	Ação ou efeito desejado
	Inatividade
	Ação ou efeito desejado insuficiente
	Ação ou efeito prejudicial
	Quebra de conexão
	Operador de solução
	Interação
	Várias ações

Uma vez identificado o tipo de problema, a solução padrão relevante pode ser localizada e aplicada para corrigir quaisquer problemas, alterando, removendo ou adicionando substâncias ou campos. Os modelos Substância-Campo levam-nos a uma análise detalhada das funções (Navas, 2013a).

Definições para Substância-Campo (Altshuller,1999):

- Substância significa qualquer objeto, independentemente da sua complexidade, conhecido como S1, S2, S3, etc.
- A substância pode ser representada por sistemas inteiros, subsistemas, objetos individuais, ferramentas ou artigos com por exemplo: submarinos, parafusos, cabos, engenheiros, etc. - todos são substâncias.
- A Substância S1 é alterada, tratada, transformada, descoberta, inspecionada, etc.
- A ação necessária é realizada pela substância S2.
- O campo F fornece a energia e a força que garante a reação de S2 em relação a S1 ou a sua mútua interação.
- Estes três agentes ativos são necessários e suficientes para o resultado necessário do problema.
- Por si só, os campos ou as substâncias não podem produzir nenhum efeito. A substância S1 precisa de um instrumento S2 e da energia produzida pelo campo F.

O processo de construção dos modelos funcionais passa, normalmente, pelas seguintes etapas (Altshuller,1999):

- Recolha da informação disponível.
- Construção do diagrama de Substância-Campo.
- Identificação da situação problemática.
- Escolha de uma das soluções genéricas (Solução-Padrão);
- Desenvolvimento de uma solução específica para o problema.

A representação “Substância –Campo” ajuda a centrar o estudo nos elementos mais importantes do sistema e a identificar o problema como pertencente a um determinado tipo de modelo. Existem quatro tipos básicos de modelos de Substância-Campo:

1. Sistema completo, descrito anteriormente (Figura 3.6, Pág. 29);
2. Sistema incompleto (Figura 3.7). É necessário completá-lo ou construir um sistema novo.

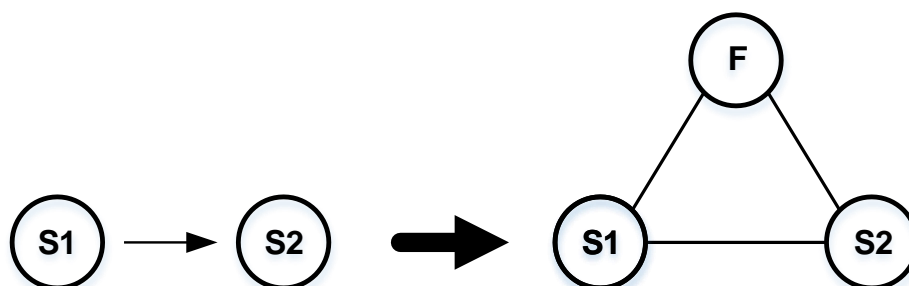


Figura 3.7 – Resolução de um Sistema Incompleto (adaptado de Navas, 2014b)

3. Sistema completo ineficiente ou insuficiente (Figura 3.8). É necessário melhorá-lo, modificando S1, S2, F ou utilizando uma nova substância, para criar o efeito desejado.

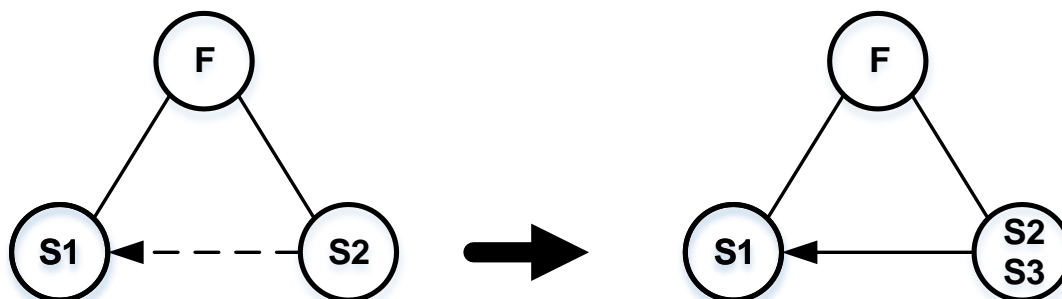


Figura 3.8 – Resolução de um Sistema Completo Insuficiente (adaptado de Navas, 2014b)

4. Sistema completo com efeito prejudicial (Figura 3.9). Todos os três elementos encontram-se nos respectivos lugares, mas a interação entre as “Substâncias” S1 e S2 é prejudicial ou indesejada. Consequentemente, o “Campo” C também é prejudicial, ou seja, existe um efeito negativo que é preciso eliminar criando um novo campo com uma nova substância.

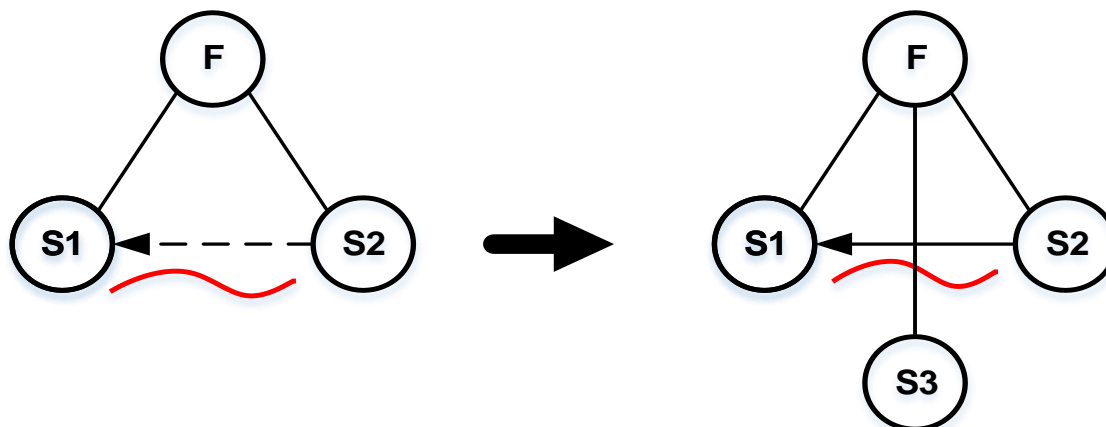


Figura 3.9 – Resolução de um Sistema completo com Efeito Prejudicial (adaptado de Navas, 2014b)

A ASC possui 76 soluções-padrão que consistem em soluções genéricas que podem ser utilizadas como modelos para solucionar problemas, e estão divididas em 5 classes, como apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Classes das Soluções-Padrão (Adaptado de Marques, 2014)

Classe	Descrição	Soluções Padrão
1	Construção ou destruição de Substâncias-Campo	13
2	Desenvolvimento de uma Substância-Campo	23
3	Transição de um sistema base para um supersistema ou para um subsistema	6
4	Medir ou detetar qualquer coisa dentro de um sistema técnico	17
5	Introdução de substâncias ou campos dentro de um sistema técnico	17
Total		76

As 76 soluções-padrão podem ser condensadas e generalizadas em 7 soluções gerais, facilitando assim a análise substância-campo, que deve partir do sistema incompleto identificando as substâncias do problema, e depois então selecionar a solução geral e a função mais adequada a aplicar para atenuar ou até eliminar o problema, podendo deste modo gerar soluções criativas e inovadoras (Marques, 2014).

Solução Geral 1 – Completar um modelo Substância-Campo que se encontre incompleto (Figura 3.10).

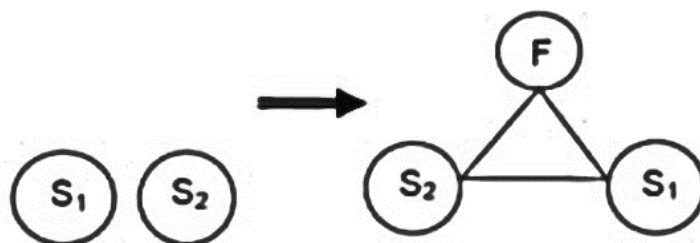


Figura 3.10 – Solução Geral 1

Solução Geral 2 – Modificar a substância S1 para eliminar/ reduzir o impacto negativo ou então para produzir/melhorar o impacto positivo (Figura 3.11).

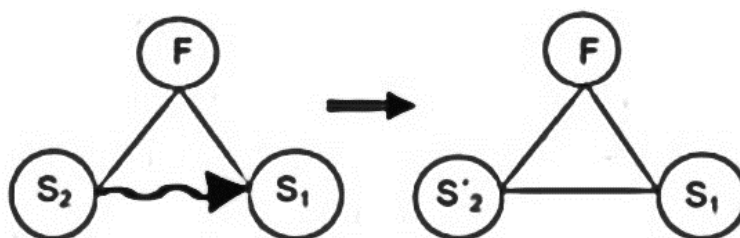


Figura 3.11 – solução Geral 2

Solução Geral 3 - Modificar a substância S2 para eliminar/ reduzir o impacto negativo ou então para produzir/melhorar o impacto positivo (Figura 3.12).

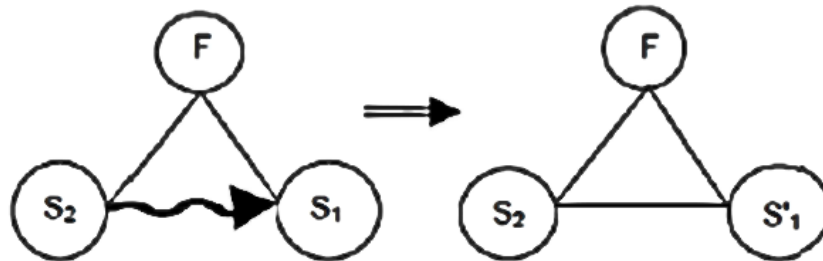


Figura 3.12 – Solução Geral 3

Solução Geral 4 - Modificar o campo F para eliminar/ reduzir o impacto negativo ou então para produzir/melhorar o impacto positivo (Figura 3.13).

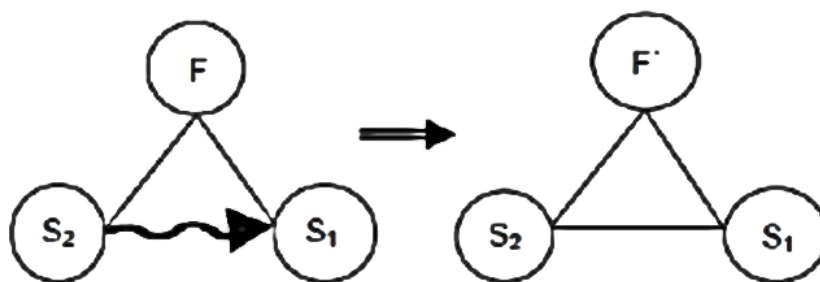


Figura 3.13 – Solução Geral 4

Solução Geral 5 - Eliminar, neutralizar ou isolar o impacto negativo utilizando outro campo Fx que interaja com o sistema (Figura 3.14).

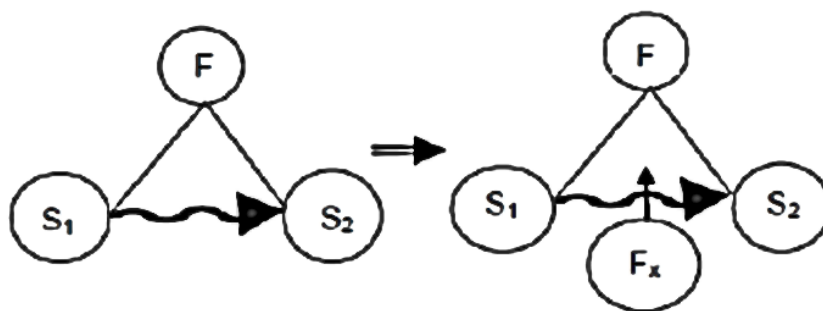


Figura 3.14 – Solução Geral 5

Solução Geral 6 – Introduzir um novo campo positivo (Figura 3.15).

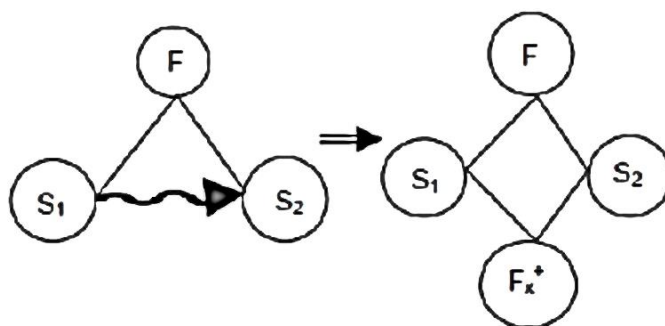


Figura 3.15 – Solução Geral 6

Solução Geral 7 – Expandir um modelo Substância-Campo existente para um novo sistema em cadeia (Figura 3.16).

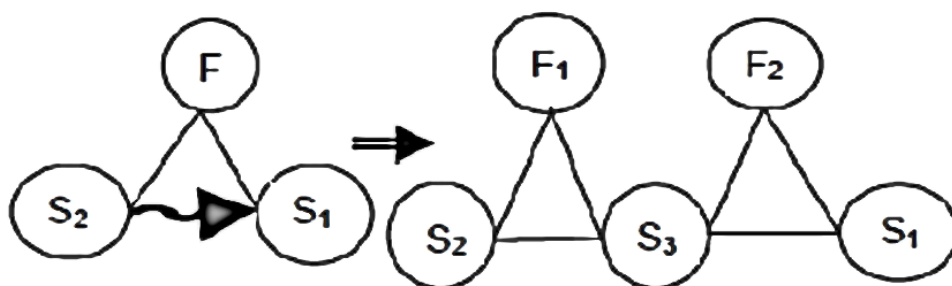


Figura 3.16 – Solução Geral 7

3.6.3. Matriz de Contradições e Princípios Inventivos

Os Princípios Inventivos constituem uma ferramenta da Teoria da Resolução Inventiva de Problemas. *Genrich Altshuller* identificou 39 Parâmetros Técnicos. Um conflito de um sistema, ou uma contradição, ocorre quando da melhoria de certos atributos resulta a deterioração de outros. *Altshuller* constatou que, apesar da grande diversidade tecnológica, existiam apenas 1250 conflitos típicos num sistema. Todos estes podiam ser resolvidos através da aplicação de somente de um número limitado de princípios. São então definidos os 40 Princípios Inventivos, muitas vezes chamados de técnicas para vencer conflitos. Contudo, a maior parte dos princípios de invenção têm um significado técnico específico introduzido por *Altshuller* (Marques, 2014).

Assim que os conflitos são identificados, pode ser aplicada a Matriz de Contradições. Esta ferramenta, é provavelmente uma das mais utilizadas pela metodologia *TRIZ*, constituída por 40 princípios inventivos (tabela 3.7 e 39 parâmetros de engenharia (tabela 3.6) (Navas, 2013b). A Matriz

de Contradições, os Parâmetros Técnicos e os Princípios Inventivos da TRIZ podem ser consultados no Anexo A e B, respectivamente.

Todos estes parâmetros podem ser utilizados ou pode-se excluir aqueles que não têm aplicação para o caso em estudo. A construção da Matriz de Contradições é feita através das seguintes etapas (Altshuller et al., 2002):

1. Identificação do parâmetro de engenharia a ser melhorado (exposto nas linhas);
2. Identificação da contradição, como consequência da melhoria do parâmetro de engenharia escolhido (exposto nas colunas);
3. Cruzamento da linha com a coluna, por forma a determinar quais os princípios inventivos correspondentes.

Os princípios inventivos são heurísticos ou propostas de potenciais soluções para um determinado problema. Os princípios considerados foram obtidos através da generalização e agrupamento de soluções repetidamente utilizadas na criação, desenvolvimento e melhoria de sistemas técnicos em diferentes áreas (Carvalho & Back, 2001).

Os parâmetros de engenharia correspondem a grandezas genéricas, presentes em problemas técnicos de diferentes áreas. As contradições existentes no problema original devem ser traduzidas em termos de um primeiro parâmetro de engenharia, o qual se deseja melhorar, e de um segundo que, em contrapartida, piora em função da melhoria do primeiro (Carvalho & Back, 2001).

O processo de consulta à matriz inicia-se com a identificação, nas linhas, do parâmetro de engenharia a ser melhorado e, nas colunas, do parâmetro que é prejudicado com a melhoria do primeiro. No cruzamento do parâmetro a ser melhorado com o parâmetro afetado negativamente, estão os princípios inventivos considerados mais úteis, no levantamento realizado por *Altshuller* (1999), para a resolução da contradição (Carvalho, 2007).

4 Metodologia

O presente capítulo tem como finalidade a apresentação da metodologia utilizada para a presente dissertação. A metodologia utilizada teve como base uma revisão bibliográfica relativa à utilização conjunta das ferramentas das metodologias *Lean* e *TRIZ*, de forma a obter um melhor entendimento da complementação das duas ferramentas, apresentando os seus benefícios. Por fim, são propostas hipóteses, baseadas numa revisão de literatura em profundidade com o objetivo de provar a sua veracidade com o estudo efetuado.

4.1. Modelos de Gestão *Lean-TRIZ*

Vários autores (Shirwaiker & Okudan, 2006), (Ikovenko & Bradley, 2004), (Thurnes, 2013), (Bligh, 2006), (Navas, 2011) apontam para a proximidade entre a filosofia *Lean* e a metodologia *TRIZ*. Estes afirmam que a *TRIZ* pode-se tornar num mecanismo poderoso, reforçando as ferramentas e o pensamento *Lean*. No entanto, é possível verificar as diferentes abordagens de cada um destes conceitos e a utilização conjunta em prol de um objetivo comum (Ikovenko et al., 2004).

Descrito no segundo capítulo, o pensamento *Lean* é uma filosofia utilizada pelas organizações permitindo aumentos de produtividade, eficiência e qualidade dos seus produtos ou serviços, ou seja, todo o trabalho realizado procura a criação de valor na perceção do consumidor. Na continuidade deste pensamento, todas as suas ferramentas e metodologias procuram a busca sistemática de melhoria contínua de processos no qual nem sempre são geradas soluções, apenas é eliminado o “lixo” (Navas, 2015).

A *TRIZ* não compete com outras metodologias nem pretende substituí-las, mas pode ser utilizada para evidenciar os seus pontos fracos, podendo sinergicamente complementar outras metodologias, nomeadamente o *Lean*. Ao analisar o tema, *Radeka* (2007) identifica um paralelismo entre a *TRIZ* e o *Lean*. O primeiro passo na resolução de um problema através da *TRIZ* consiste em analisar o problema procurando encontrar formas de o enquadrar por forma a criar uma solução ideal. Através da *TRIZ* procura-se que o problema tenha um resultado final ideal, isto é, uma solução que evita os desperdícios e danos desnecessários. Como exemplo, na indústria automóvel, o resultado final ideal é o automóvel pronto para o cliente, sem este ter de pensar na qualidade, mão-de-obra, matéria-prima ou cadeia de abastecimento envolvidos. Este é um resultado que entra no âmbito da prática do *Lean*, nomeadamente o quinto princípio do pensamento *Lean*, a perfeição.

A combinação dos vários instrumentos de forma a gerar um ambiente de utilização conjunta *Lean – TRIZ* apresenta vantagens importantes quando, na sua utilização individual, ocorrem limitações de aplicação das várias ferramentas. A aproximação do *TRIZ* ao *Lean*, no contexto de criação de valor, é denominada por *TRIZ Plus*, onde o seu objetivo vai ao encontro do objetivo do princípio de “valor” *Lean* (Valor, Fluxo de Valor, Fluxo, Pull, Perfeição) (Navas, 2011).

Na Tabela 4.1, é possível comparar a abordagem do *TRIZ Plus* e do *Lean* em analogia ao “valor” em relação aos sete principais desperdícios e na Tabela 4.2 é possível visualizar os instrumentos do *TRIZ Plus* em relação ao “fluxo do valor”.

Tabela 4.1 - Comparação da abordagem ao “valor” pelo TRIZ Plus e pelo Lean (adaptado de Navas, 2011)

<i>Lean</i>	<i>TRIZ Plus</i>
Sobre produção	Funções excessivas
<i>Stocks</i>	Funções corretivas
Sobre processamento	Funções providenciais e corretivas
Movimentos desnecessários	Funções providenciais e corretivas
Defeitos	Funções insuficientes, excessivas ou prejudiciais
Tempo de espera	Funções insuficientes
Transporte desnecessário	Funções providenciais

Tabela 4.2 - Abordagem Fluxo do valor pelo TRIZ e pelo Lean (adaptado de Navas, 2011)

<i>Lean</i>	<i>TRIZ Plus</i>
Mapeamento da Cadeia de Valor (situação atual)	Modelo Funcional do Processo
Mapeamento da Cadeia de Valor (situação futura)	Remoção, Análise da Cadeia de Causa - Efeito
Mapeamento da Cadeia de Valor (interno)	Modelo Funcional do Sistema Inteiro
Matriz da Família de Produtos	Modelos Funcionais de Linhas de Produtos separados

Para a implementação desde fluxo, a filosofia *Lean* apresenta um conjunto de instrumentos fundamentais como o *Takt Time*, Normalização, 5S, Balanceamento do Trabalho e a Produção Nivelada. O *TRIZ Plus* compreende vários instrumentos capazes de abordar todo o fluxo produtivo sem interrupções ou atrasos. Os vários instrumentos são apresentados comparativamente na Tabela 4.3 (Navas, 2011).

Tabela 4.3 - Abordagem comparativa de fluxo pelos diferentes instrumentos da TRIZ Plus e do Lean (adaptado de Navas, 2011)

<i>Lean</i>	<i>TRIZ Plus</i>
<i>Takt Time</i>	Abordagem de Coordenação do Ritmo de Trabalho
Normalização: O Quê? Quem? Como?	Princípios Inventivos, Soluções-Padrão
5S	Transição para o Sistema Inteiro, Remoção, Soluções-Padrão (classe 4)
Balanceamento de Trabalho	Modelo Funcional, redistribuição de funções, nova arquitetura funcional
Produção Nivelada	Transição para o Sistema inteiro (diferentes mecanismos), Remoção

A última abordagem apresentada é relativa à capacidade de entrega do produto ao cliente de acordo com a urgência deste, designado por princípio *Pull*. A descrição comparativa dos instrumentos do *Pull* do *Lean* e da *TRIZ Plus*, é apresentada na Tabela 4.4, (Navas, 2011):

Tabela 4.4 - Abordagem Pull pelo TRIZ e pelo Lean (adaptado de Navas,2011)

<i>Lean</i>	<i>TRIZ Plus</i>
<i>Kanban</i> – Produção/Instruções	Princípios inventivos, Soluções-Padrão (classe 4), Remoção
<i>Kanban</i> – Recolha	Princípios inventivos, Soluções-Padrão (classe 4), Remoção

No âmbito da melhoria contínua, nem todos os instrumentos da *TRIZ* podem ser aplicados diretamente apesar de algumas Soluções-Padrão e alguns princípios inventivos serem adequados. Verifica-se que a implementação e o desenvolvimento dentro das organizações, utilizando de forma independente as diferentes ferramentas da *TRIZ* e do *Lean* estão sujeitas a limitações. No entanto, se estas forem utilizadas de forma a complementarem-se, e assim, construir um ambiente de utilização em equilíbrio terá garantias na gestão da inovação e do desenvolvimento em valor da organização (Navas, 2011).

4.2. Benefícios dos Modelos de Gestão *Lean-TRIZ*

Existem muitas semelhanças entre a *TRIZ* e os conceitos de produção *Lean*. Ambos ambicionam a melhoria dos processos de produção, levando uma quantidade significativa de tempo para definir os problemas, compreender a veracidade e resolver esses problemas de forma a eliminar defeitos e otimizar o uso de recursos disponíveis. Os princípios da *TRIZ* aliados à inovação proporcionam eficiência *para* os processos, fornecendo diretrizes definitivas para os engenheiros analisarem. No entanto, a *TRIZ* é uma ferramenta mais forte conceitualmente do que como ferramenta analítica. De acordo com *Hipple* (2003), embora a *TRIZ* possa ser usado como ferramenta de definição de problema, a sua maior força reside na resolução de contradições e resolução de problemas definidos por outras técnicas (*Shirwaiker & Okudan*, 2006).

O poder inventivo da *TRIZ* tem uma vantagem definitiva e um potencial que podem ser efetivamente usados em métodos organizacionais como *Lean*. *TRIZ Plus* pode ser efetivamente usado como suporte das ferramentas *Lean* em quase todos os princípios *Lean* (*Ikovenko & Bradley*, 2004). Alguns dos parâmetros *TRIZ* são especificamente orientados para a eliminação de determinados desperdícios (*Shirwaiker & Okudan*, 2006). A abordagem *TRIZ Plus* tem sido utilizada num grande projeto de milhões de dólares no *Kawasaki Steel Group*, onde, em diferentes níveis de *Lean*, várias ferramentas *TRIZ Plus* geraram resultados dramáticos, incluindo simplificação do processo, redução considerável de custos, confiabilidade e melhoria de segurança (*Ikovenko & Bradley*, 2004).

No *Lean* podem haver soluções de melhoria em que é necessário recorrer ao compromisso. A *TRIZ* evita que se tenha de fazer este compromisso, por exemplo através da matriz das contradições, porém esta metodologia é ainda pouco frequentemente trazida para o contexto do *Lean*, o que, segundo *Thurnes* (2013), é pouco compreensível, dado que a *TRIZ* foca-se na melhoria dos sistemas, independentemente de estes sistemas serem produtos ou processos.

Apesar dos vários pontos em comum, enquanto que na *TRIZ* é muito importante entender todos os recursos que podem ser usados para resolver um problema e entender onde o problema real reside a fim de eliminar as contradições evitando o compromisso/*trade off*, no *Lean* o objetivo é entender o sistema inteiro e como é que os materiais e informações fluem através do mesmo, de forma a encontrar o melhor compromisso entre as contradições (*Bligh*, 2006). Em resumo, ambas são formas de melhorar o funcionamento de um sistema, mas enquanto a *TRIZ* concentra-se em recursos realistas e elementos individuais para otimizar, o *Lean* considera todo o sistema para encontrar potenciais eficiências (*Bligh*, 2006).

A *TRIZ* estabelece o objetivo da perfeição, para identificar o que está a acontecer com o sistema atual, enquanto o *Lean* tem em consideração ideias futuras para implementar os seus processos. O objetivo do *Lean* é eliminar o desperdício, que é considerado um dos principais problemas de um sistema problemático, enquanto que na *TRIZ* os problemas são totalmente abordados face aos desperdícios que ocorreram historicamente. As semelhanças levam à sobreposição entre *TRIZ* e *Lean*, enquanto que as diferenças são razão pela qual se devem aplicar em conjunto de forma a

encontrar as melhores soluções (Nowlan & Heap). A combinação entre a *TRIZ* e o *Lean* resulta num método perfeito para realizar e abordar tarefas que individualmente as metodologias poderão não ter a capacidade de abordar.

Tanto a *TRIZ* como o *Lean* têm o objetivo de ir além do que atualmente se entende como a verdade. Na *TRIZ*, a resolução de problemas deve descobrir os pressupostos que são feitos pelo uso do jargão e a definição atual do problema. Em *Lean* um termo comum é “*go and see*”, isso significa que é melhor ao definir o sistema à mão, experimentar e ver como funciona, em vez de apenas assumir que a informação recolhida está correta (Bligh, 2006).

A *TRIZ* e *Lean* são vocacionados para o “futuro ideal”, mas enquanto a *TRIZ* usa a ideia do “sistema perfeito” para entender o que está errado com o sistema atual e o “porquê” da idealidade não poder ser implementada, o *Lean* usa o mapa de estado futuro para definir um conjunto de metas a serem cumpridas na sua implementação. Através de ambos os sistemas, o objetivo é atingir um estado mais ideal do que o atual, seja uma solução de problema particular ou uma reorganização de infraestrutura.

A *TRIZ* pode ser um complemento muito útil ao *Lean*, pois como técnica de resolução de problemas, pode ser usado dentro do *Lean* para encontrar métodos para realizar tarefas que podem não ter sido encontradas de outra forma. A *TRIZ* pode encontrar soluções que utilizem recursos atualmente disponíveis que podem ser vistos como desperdícios “mudas”. Além disso, o resultado final ideal da *TRIZ* pode ajudar no desenvolvimento do mapa de estado futuro, observando o papel em todo o sistema de um processo específico e determinando como a idealidade para ambos pode ser equilibrada (Bligh, 2006).

Finalmente, a *TRIZ* e o *Lean* procuram otimizar o uso dos recursos disponíveis. No *Lean*, o objetivo é eliminar o desperdício, pois o desperdício significa que existem ineficiências e ações prejudiciais no sistema. Na *TRIZ*, muitas vezes a solução do problema utiliza um recurso que anteriormente era visto como um incômodo ou como um desperdício. Todos esses elementos sobrepostos remetem para o uso das ideias *TRIZ* numa implementação *Lean* (Bligh, 2006).

Contudo existem visões diferentes sobre a *TRIZ*, havendo autores que consideram que a *TRIZ* abrange efetivamente a complementação da parte analítica, sendo suficiente e podendo ser utilizada sem a confluência com outros métodos analíticos (Altshuller, 2007).

4.3. Estrutura Metodológica

A fim de atingir os objetivos definidos, em primeira instância, foi elaborada uma revisão bibliográfica em profundidade que envolveu a consulta de artigos em revistas da especialidade, dissertações de mestrado, livros e internet. Concretamente, para artigos científicos e dissertações de mestrado, foi

procurado sempre, tentar satisfazer um horizonte temporal o mais recente possível, com exceções de artigos cujos estudos ou autores permanecem como referências na sua área de estudo.

Durante a análise dos trabalhos empíricos desenvolvidos, foi percebida uma lacuna relativa aos resultados obtidos na aplicação das ferramentas *Lean* e *TRIZ*, visto serem baseados em setores particulares e não havendo estudos que façam uma análise geral. Desta forma a tarefa seguinte passou por escolher e analisar três estudos de caso, que colmassem esta lacuna.

O estudo de caso é a metodologia mais apropriada considerando a natureza exploratória de uma pesquisa (Silverman, 2001; Voss et al., 2002). Permite a exploração das razões pelas quais os problemas de coordenação surgem, identificar as possíveis consequências em termos de custos, *lead times* e capacidade de inovação e abordar como podem ser resolvidos.

O estudo de caso também é mais apropriado para responder "por quê?" e "como?" (Yin, 2014) e embora uma abordagem puramente conceitual possa alcançar o mesmo fim, os estudos de caso fornecem a profundidade necessária para determinar se as proposições são plausíveis e, em caso afirmativo, desenvolver uma teoria com diretrizes para transferi-las para a realidade empresarial (Stuart et al., 2002; Siggelkow, 2007). Para a presente dissertação, os estudos de caso também são especialmente apropriados para avaliar os processos de mudança longitudinal ou quando é difícil entender a experiência descrita fora do seu contexto (Eisenhardt, 1989).

De forma a atingir o objetivo foram escolhidos estudos de caso particulares, mas com características distintas. Cada estudo de caso é referente a uma organização pertencente a um setor de intensidade tecnológica diferente, onde as suas dimensões divergem, têm diferentes níveis de *Lean* e tem a aplicação conjunta das ferramentas *Lean-TRIZ*.

A etapa seguinte envolveu a identificação da ferramenta *TRIZ*, que permitia um efeito catalisador na aplicação conjunta com as ferramentas *Lean*, e desta forma proporcionar a elaboração de uma análise comparativa geral. O nível de idealidade, foi o indicador de comparação mais adequado para o enriquecimento de uma análise comparativa, sendo que esta deriva de uma ferramenta inovadora a Matriz da Idealidade.

De seguida identificaram-se os níveis de idealidade iniciais, valores obtidos antes da aplicação das ferramentas *TRIZ*, e os valores dos níveis de idealidade finais, após a aplicação das ferramentas *TRIZ* e *Lean*. Desta forma e tendo em conta os diversos fatores envolventes de cada estudo de caso, foi construída uma tabela comparativa, que permite aferir o nível de desempenho obtido por cada empresa.

A obtenção de resultados gerais, permite através da análise de temáticas, a expansão e aplicação dos conhecimentos para uma visão mais global, sem se focar particularmente em estudos de caso específicos. Desta forma este estudo poderá atribuir às organizações e aos estudos empíricos, uma percepção geral da aplicação conjunta das ferramentas *Lean* e *TRIZ*, bem como uma orientação útil caso pretendam vir a adotar princípios de melhoria contínua e de inovação. É, no entanto, de mencionar que a aplicação destas propostas de melhoria, têm que estar sujeitas, a priori, a uma

profunda análise individual do estudo de caso em causa e, seguidamente, ao acompanhamento contínuo, visto que se pretende que os benefícios sejam contínuos e sustentáveis.

Por último, embora não menos patente, foi a forma como o presente trabalho permitiu, através de um estudo intensivo de distintas matérias, o contacto com diferentes organizações.

Tendo por base os comentários expostos anteriormente, são propostas as seguintes hipóteses:

H1: Será que a *TRIZ* ajuda a identificar mais oportunidades de melhoria e consegue identificar mais desperdícios/problemas, independentemente do setor, da dimensão da empresa e do nível de maturidade do *Lean*?

H2: Tendo em conta que o *Lean* não tem ferramentas de geração de soluções, será que a *TRIZ* lhe confere capacidade de desenvolver maior número de potenciais soluções, sendo neste caso estas mais inovadoras e criativas?

H3: Existe alguma dependência entre dimensão da empresa, ramo de atividade(setor), número de intervenientes nos processos e o nível de maturidade do *Lean*, relativa a uma utilização conjunta entre a *TRIZ* e *Lean*?

5 Estudos de Caso

O presente capítulo tem como finalidade, a apresentação e análise da aplicação das metodologias *Lean-TRIZ*, em três estudos de caso distintos. Cada estudo de caso é referente a uma empresa, apresentando características diferentes, ao nível de: dimensão (pequena, média e grande), tipo de indústria (automóvel, alimentar e ventilação) e setor (*low tech*, *médium tech* e *high tech*).

5.1. Estudo de Caso 1 - Sandometal

A *Sandometal* é uma pequena empresa nacional da indústria de ventilação, com nível tecnológico alto, fundada em 1979 pelos atuais acionistas. É composta por duas unidades de produção, localizadas no município de Vila Franca de Xira, especificamente em Alverca e Povos. O estudo foca-se na unidade de produção de Povos, que se restringe à produção de unidades de ventilação e unidades de tratamento de ar. Esta unidade é constituída por uma área de armazenamento, uma área de produção e uma zona de receção / expedição. Numa análise inicial foram encontrados problemas de:

- Organização do armazém;
- Fornecimento inadequado de materiais nas linhas de montagem;
- Fornecimento de material defeituoso;
- Gestão de *Stocks*;
- Limitações do software *ERP*.

Embora o estudo se tenha concentrado na área de armazenamento, a inexistência de um nível *Lean* levou à necessidade de expandir a aplicação de ferramentas *Lean* para outras áreas operacionais desta unidade de produção, a fim de identificar os problemas de gestão e organização espacial e alcançar uma melhoria na eficiência dos processos organizacionais.

Inicialmente, foram utilizadas ferramentas *Lean* que não existiam nessa empresa, para realizar uma primeira auditoria na área analisada (armazém), através de um documento de controlo e a criação de uma lista de verificação, com base nos 5 sentidos, para saber quais os fatores a levar em consideração e onde se deve atuar.

Nesta primeira análise/auditoria, onde foram considerados apenas 3S (Triagem, Arrumação, Limpeza) verificou-se que o valor de eficácia era de 20%, devido à inexistência de método e organização no local de trabalho. Face aos problemas identificados e após a implementação dos 5 sentidos, foram propostas ações de melhoria e as vantagens desta implementação conferiam melhorias na ordem dos 80% relativamente à eficácia. Para demonstrar quantitativamente as

melhorias implementadas, foi realizada uma auditoria final com base na análise 3S, onde foi verificado um valor de eficácia de 88%.

A segunda ferramenta *Lean* utilizada foi a gestão visual com base no 5S. A aplicação desta ferramenta teve como objetivo facilitar a identificação e localização de matérias-primas dentro do armazém durante o processo de *picking*.

Por fim, recorreu-se à implementação da padronização do trabalho e alteração do *layout* da fábrica numa determinada área. Com estas duas ferramentas, foi possível definir regras de fluxo de material, eliminar movimentos desnecessários, modificar o modo de *picking* para evitar erros de material e consequentemente diminuir o tempo de execução. Também foi possível simplificar o processo de inventário, no nível da consulta e organizar o espaço com o uso de *layouts*.

Numa análise mais aprofundada dos processos problemáticos, verificou-se a existência de contradições no *software ERP*, na gestão de stocks de armazém e no fornecimento de produtos não conformes pelos fornecedores. A fim de eliminar estas contradições/ problemas foram utilizadas ferramentas *TRIZ*, especificamente a análise substância-campo.

A consulta de stocks no *Software ERP*, era um processo moroso que foi identificada como uma contradição a eliminar, visto ser um processo bastante simples.

Nesta análise substância campo o sistema inicial, é um sistema ineficiente (Figura 5.1) e constituído por duas substâncias (S1 e S2), descrição do produto e consulta do produto respetivamente, e um campo F, *Software ERP* de armazenamento de dados.

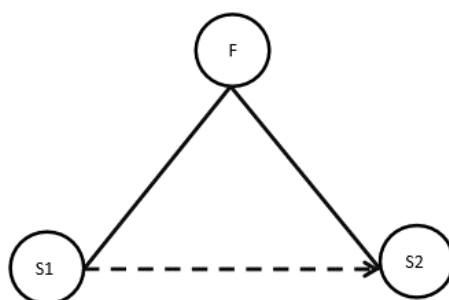


Figura 5.1 – Sistema Ineficiente 1

Condensando e generalizando as 76 soluções Padrão em 7 soluções gerais, obteve-se a sétima solução geral, substituição da substância S1, permitindo assim reduzir ou eliminar a ineficiência, através de uma expansão para um novo sistema em cadeia. Este novo sistema (Figura 5.2) é constituído pelas Substâncias (S1, S3 e S3) definições do produto, servidor criado internamente e consulta de produtos, respetivamente e como campos (F1 e F2) *Software ERP* e Base de dados, onde é armazenada a informação para consulta.

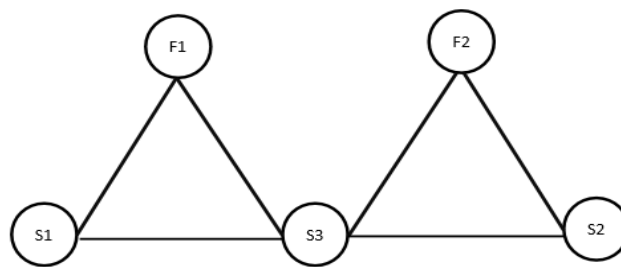


Figura 5.2 – Sistema Eficiente 1 em cadeia

Com a aplicação desta ferramenta foi possível desenvolver a criação de uma base de dados aliada a um servidor interno que permite uma consulta de produto mais eficiente e elimina a contradição inicialmente existente.

Devido a uma ineficiente Gestão de *Stocks*, existia um não cumprimento dos prazos de entrega ao cliente, consequência da existência de roturas de stock, que não eram reportadas atempadamente aos fornecedores externos. Ao aplicar a análise substância-campo estamos perante um sistema ineficiente (Figura 5.3) constituído pelas substâncias (S1 e S2) o Gestor de Produção e o Gestor de Compras Externas, e como campo F a troca de informação sobre compras e o *stock* necessário. Condensando e generalizando as 76 soluções Padrão em 7 soluções gerais, obteve-se a segunda solução geral, substituição de um campo, da substância S1 por um Gestor de Armazém.

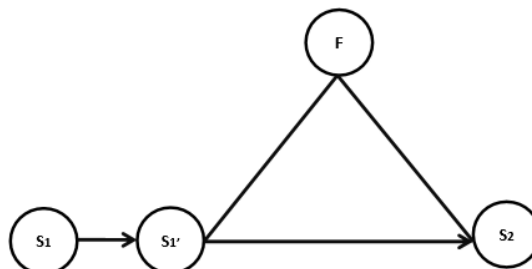


Figura 5.3 – Sistema Eficiente 2

Ao aplicar as ferramentas *Lean*, gestão visual e os 5S e a ferramenta *TRIZ*, obteve-se a melhor solução para a contradição, permitindo haver um melhor fluxo de informação entre os Gestores e haver um controlo sistemático de todos os produtos existentes em armazém a nível de roturas e redução de stocks internos, assim como a determinação dos tempos de chegada de material de fornecedores.

Com a análise-substância campo anterior, substituição de um campo, identificou-se outra situação problemática relativa aos produtos não conformes. Este sistema é incompleto (Figura 5.4), visto que não eram reportados ao fornecedor as inconformidades, sendo apenas constituído pela substância S1, produtos externos não conformes e a substância S2, o gestor de compras e de reclamações de produtos externos.



Figura 5.4 – Sistema Incompleto

Ao aplicar a primeira solução geral, introdução de um campo F, que neste caso será um gestor de Armazém, permitirá a ligação entre a substância S1 e S2 havendo assim elo de comunicação que reporta as inconformidades, representado na Figura 5.5:

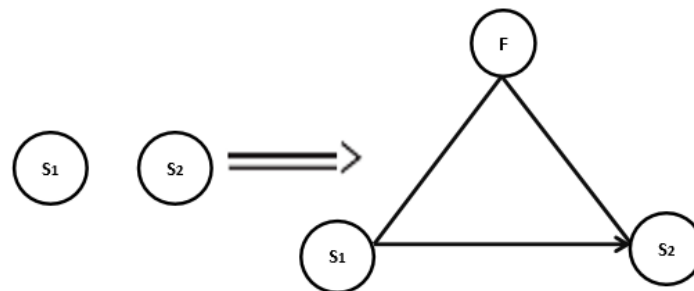


Figura 5.5 – Sistema Completo

A gestão de *Stocks* relativa às roturas e excessos de *stock* é efetuada com recurso ao *Software ERP*, e sendo este processo moroso e confuso, recorreu-se a outra ferramenta *TRIZ*, Matriz das Contradições a fim de melhorar o sistema onde se pretende haver uma melhoria na (24) perda de informação, mas que implica ter uma contradição técnica que irá (25) piorar a perda de tempo. No cruzamento dos parâmetros (24) e (25), obtêm-se os princípios de invenção (24) e (32), como os mais adequados (tabela 3.6 na secção 3.6.3). Face a estes princípios a solução encontrada passa pela introdução no sistema de um leitor de código de barras (dispositivo ótico), que permite seleccionar o produto e ficar automaticamente disponível no sistema, permitindo a seleção da quantidade de material a sair do armazém e atualizar automaticamente o *stock*.

Tendo como objetivo a melhoria da eficiência e eficácia dos processos praticados foram aplicadas ferramentas *Lean-TRIZ*. Recorreu-se às ferramentas *Lean* numa fase inicial, visto serem inexistentes, permitindo a identificação de várias situações problemáticas bem como identificar pontos a melhorar. Estas contradições foram eliminadas com o recurso às ferramentas *TRIZ* e que permitiram identificar 6 parâmetros organizacionais e solucionar mais contradições, inicialmente não contabilizadas, especificamente o custo de mão-de-obra, que se relaciona diretamente com o tempo despendido para desenvolver, aplicar e normalizar processos. Obtendo assim através da Matriz de Idealidade inicialmente um nível de idealidade de 0,428 e um nível de idealidade final de 2,25. Os níveis de idealidade foram calculados através da divisão entre o número de interações positivas e o número de interações negativas. A evolução do nível de idealidade bem como as Matrizes de Idealidade associadas, podem ser consultadas no Anexo C.

5.2 Estudo de Caso 2 – MFTE

A *MFTE* é uma empresa multinacional da indústria automóvel com nível tecnológico médio. Em Portugal esta empresa tem uma dimensão grande e foca-se na montagem da *Fuso Canter*, montagem de camiões e é constituída por sete linhas de montagens distintas. A linha em estudo é a linha de revestimento (processo intermédio, antes da linha final), esta linha tem a capacidade de 28 postos de trabalho, mas devido à redução da quantidade de produção, só estão ocupados 13 postos de trabalho. Neste estudo de caso o nível de *Lean* era muito maduro, havendo já existência de uma auditoria onde os problemas encontrados tinham maior complexidade e especificidade a nível de resolução.

O objetivo é a eliminação de desperdícios ainda existentes na linha, nomeadamente, problemas por desadequação ergonómica existente. A *TRIZ* aparece como a ferramenta de resolução de problemas e de inovação sistemática que apoia as questões que possam surgir ao longo de processos de melhoria e, ou implementação.

Foram tidos em conta dois estudos de caso para a aplicação da *TRIZ*, o primeiro relativo à conceção do *kit* de abastecimento, que será utilizado em toda a linha em estudo e o segundo estudo de caso que se foca apenas aos postos *8314RH* e *8314LH*, respetivamente lado direito e esquerdo da mesma linha.

Numa fase inicial foi identificado na linha de revestimento (através do *TOS+*), um deslocamento excessivo dos operadores devido à localização do kit de abastecimento face à cabine e deste mesmo ser segmentado, de haver a necessidade de selecionar os componentes, contornar as portas, espaço dedicado para a substituição do 2º *kit* e a existência de mais rotas de abastecimento.

Face aos problemas encontrados e a fim de eliminar os desperdícios existentes propôs-se a criação de um novo *kit*, constituído por dois *kits* dedicados com estrado, em cada lado da linha ao longo da linha. A criação do novo *kit*, levantou diversas condicionantes por parte das várias áreas operacionais, nomeadamente devido à existência do estrado. Assim a fim de ultrapassar todas as limitações apresentadas, foi elaborado um estudo da ocupação do estrado por posto, através das ferramentas *Lean*, especificamente, Diagramas de Spaghetti e Folhas de Trabalho Padrão (FTP).

Com as ferramentas *Lean* abordadas anteriormente, houve uma quantificação específica de quais os postos com uma maior ou menor ocupação do estrado, mas não permitiu garantir que a solução proposta consiga realmente superar as limitações, sendo neste âmbito definidos parâmetros associados às limitações impostas. É deste modo que a aplicação das ferramentas *TRIZ* vêm colmatar as lacunas das ferramentas *Lean*. Através da Matriz Idealidade adaptada à conceção do *kit*, é possível identificar as interações entre os parâmetros e possível entender quais as interações negativas que podem ser eliminadas através da ferramenta, Matriz das Contradições. A Matriz das Contradições será adaptada à Matriz Idealidade através da aproximação dos parâmetros pretendidos aos 39 Parâmetros de Engenharia.

Os princípios inventivos obtidos pela Matriz das Contradições, após verificados como aplicáveis ao estudo de caso concreto, permitem eliminar as contradições técnicas e ter uma influência direta na melhoria dos parâmetros definidos inicialmente. Assim avaliados e escolhidos os princípios inventivos, foi possível desenvolver um conceito 'ideal' para o *kit*, que passa pela remoção do estrado e adição de um carro de apoio independente do *kit* a fim de permitir o *nesting* e reduz os deslocamentos excessivos dos operadores, havendo uma redução do *work-in-progress* e uma melhoria do *lead time* na linha de revestimento. Com a implementação destas alterações levou a que o número de interações positivas aumentasse de 10 para 17, e que o número de interações nocivas decrescesse de 12 para 4, obtendo um nível de idealidade final de 4,25.

O segundo caso de estudo, relativo aos postos 8314RH e 8314LH teve como objetivo a eliminação da falta de adequação ergonómica. Este posto está localizado no final da linha de revestimento, as tarefas desenvolvidas são executadas em duas posições distintas (topo da cabine e cabine elevada), dependendo do tipo de operações.

A posição com cabine elevada é a posição com fatores de risco visto serem executadas operações com os membros superiores acima do nível da linha dos ombros com extensão do pescoço. Numa análise inicial o estudo incide no posto 8314RH, onde são executadas 10 operações na posição cabine elevada, onde se verificou 6 das quais como problemáticas por falta de adequação ergonómica.

Recorrendo-se às ferramentas do modelo de resolução de problemas *TRIZ*, por meio de uma análise Substância Campo elaborou-se uma representação genérica do problema. O sistema é constituído pelas substâncias (S1 e S2) a cabine antes de entrar no posto 8314, e como campo F as operações associadas aos postos 8314RH e 8314LH, formando assim um sistema completo, mas com efeito indesejado, visto que o campo F provoca um efeito colateral negativo por falta de adaptação ergonómica. Condensando e generalizando as 76 soluções Padrão em 7 soluções gerais, obteve-se a alteração do campo F como solução geral.

Tendo em conta as 6 operações problemáticas existentes e a fim de reduzir o fator de risco e a existir uma adaptação do posto ao operador, foi proposta a redução da altura da posição da cabine e analisado o impacto da alteração face às operações que decorrem no posto 8314RH.

Verificou-se através de comparação entre a posição da altura normal da cabine e a nova altura reduzida, que houve uma melhoria na postura do operador nas 6 operações problemáticas, mas uma degradação nas restantes quatro operações que não tem fator de risco associado quando executadas na posição normal, mas que pode ser minimizada pela formação em boas práticas ergonómicas.

A redução da altura da posição da cabine, tem um impacto nas operações do posto 8314RH, como também nas operações do posto 8314LH. Este posto teve uma degradação significativa na sua postura durante a execução das operações, continuando assim o sistema completo, mas com efeitos indesejados sendo estes a necessidade de adaptar a posição da cabine a cada operação.

A segunda alteração ao sistema é baseada no fator de risco associado à duração da execução de uma operação. Tendo como objetivo a redução ou eliminação à exposição a posturas danosas, recorreu-se a outra ferramenta *TRIZ*, a Matriz das Contradições, como suporte à análise substância-campo. Fazendo o cruzamento entre os parâmetros (9) e (29), obteve-se o princípio inventivo 10 como solução adequada ao estudo de caso que passa pela aplicação de um parafuso com rosca curta de forma a permitir uma rápida remoção. Apesar desta solução obter uma redução na duração das operações, através da eliminação de procedimentos redundantes em algumas operações, continuam a existir efeitos indesejados no sistema devido ao desequilíbrio entre as operações.

A terceira alteração surge dessa necessidade, existir um equilíbrio entre as operações entre o posto *8314RH* e *8314LH*, como tal foram feitas alterações a nível da ordem de execução das operações, visto não existir precedências entre as mesmas, e foram atribuídas a cada operação a posição adequada a fim de não existir fator de risco, bem como a duração de cada operação. Com estes três fatores obteve-se uma melhoria no equilíbrio entre as operações, mas uma vez mais continuam a existir efeitos indesejados no sistema, visto que estas alterações foram estudadas sempre com a mesma referência de estaturas de operadores.

A última alternativa aplicada a fim de reduzir os fatores de risco, foi redução de repetições através da rotação de operadores, permitindo que o operador exerça outro tipo de movimentos, diminuindo a repetição de uma determinada operação e reduzindo o esforço. Com a introdução deste novo campo obtém-se um sistema completo sem efeitos indesejados.

5.3. Estudo de Caso 3 – DANCAKE

A *Dancake S. A* é uma empresa nacional da indústria alimentar com um baixo nível tecnológico, média dimensão, fundada em 1978, que tem como atividade principal o desenvolvimento, produção e comercialização de bolos, bolachas, biscoitos, tostas e outros produtos de pastelaria, e para além da sua marca própria, também produz para marcas brancas. Esta empresa tem um total de 19 linhas de produção, distribuídas pelas duas unidades fabris nacionais, na Póvoa de Santa Iria e em Coimbra.

O propósito deste estudo foi devido a identificação de um problema existente na unidade fabril da Póvoa de Santa Iria por parte do Engenheiro responsável da manutenção, na linha 3 onde são produzidos os *crackers*, especificamente nas máquinas denominadas por cavanais que fazem as embalagens que vão para o consumidor final.

Numa fase inicial e a fim de se medir e analisar a produtividade da linha 3, recorreu-se as ferramentas *Lean*, *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, um indicador de desempenho que também indica oportunidades de melhoria e constituído por três componentes, taxa de utilização, taxa performance e a taxa de qualidade.

Com este indicador de desempenho e analisando os registos de um mês de produção verificou-se que o valor obtido (58.5%) é cerca de 14% inferior ao valor de *OEE* mínimo definido pela empresa (72%). O componente identificado como condicionador deste valor reduzido foi a taxa de utilização

que é muito reduzida, devido maioritariamente às recorrentes avarias das máquinas de empacotamento final, que levaram aos seguintes problemas:

- Impossível aumento de velocidade da linha de produção;
- Perdas de produtividade;
- Excesso de produtos semiacabados;
- Desperdícios de bolachas;
- Excesso de mão-de-obra;
- Perda de tempo.

A ferramenta *Lean*, *OEE* permite identificar a existência de um problema e indicar qual o componente que deve sofrer alterações a fim de se obter a melhoria, mas não permite encontrar a solução de resolução para o problema. A implementação da Metodologia *TRIZ*, surge dessa necessidade da utilização de uma ferramenta que permita resolver o problema e não só identificá-lo como uma oportunidade de melhoria.

Face ao primeiro problema abordado e havendo a necessidade de superar a impossibilidade de aumentar a velocidade da linha de produção, foi identificada a contradição técnica do sistema e obtidos os princípios de engenharia/ parâmetros técnicos a melhorar e a piorar. Com a aplicação da Matriz das contradições relacionaram-se os parâmetros obtidos, e identificaram-se os princípios inventivos que se adaptam melhor ao estudo de caso, sendo este o princípio de invenção 10, melhorar o balanceamento entre máquinas, de maneira a conseguir implementar um sistema de automação e conseguir melhorar a velocidade de produção.

Para a resolução dos restantes problemas mencionados, foi aplicada a ferramenta *TRIZ* - Análise Substância-Campo, que consiste na identificação do tipo de sistema presente e da solução geral mais adequada.

Assim para o problema relativo ao excesso de produtos semiacabados, foi identificado um sistema incompleto, em que S2 corresponde às embalagens individuais e S1 às embalagens individuais que caem. Recorrendo as 76 soluções-padrão e resumindo-as a 7 soluções gerais, obtém-se como mais adequada a primeira solução geral, ou seja, a implementação de um campo F que tornaria o sistema completo ao ligar as duas substâncias.

Para que exista a ligação entre as duas substâncias seria necessário a existência de um buffer em forma de passadeira circular (carrossel) paralela à linha de montagem, que permita a armazenagem das embalagens de produto semiacabado, quando a linha de produção não tem capacidade e as reintroduzisse novamente na linha. Com a introdução do buffer seria reduzida a quantidade de produto semiacabado, como também seria eliminado o número de operadores responsável pelo enchimento dos caixotes com as embalagens não suportadas em linha.

Para que haja uma redução da mão de obra, isto é, do número de operadores em linha inerentes ao processo de transição de posição horizontal para vertical das embalagens, de modo a que estas

transitem do embalagem individual (S1) para o embalagem final (S2). Foi identificado o sistema (Figura 5.6) onde se pretende eliminar, neutralizar ou isolar o impacto negativo utilizando outro campo Fx que interaja com o sistema, em que como campo F é considerado o embalagem.

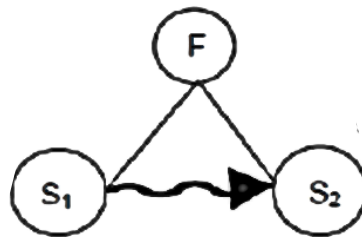


Figura 5.6 – Sistema Completo com Efeito Prejudicial

Inicialmente o processo era muito lento e exigia a utilização de cerca de 3 a 4 operadores, a fim de aumentar a velocidade.

A solução geral 5, que consiste na implementação de um novo campo F, sob a forma de um sistema automático de controlo, foi a solução encontrada mais apropriada, e que permite colocar rapidamente as embalagens individuais horizontais na vertical, o que levaria a um aumento da velocidade, produção e uma redução do número de trabalhadores.

Por último as perdas de produtividade da linha, originadas pelas constantes avarias da máquina de embalagem final e a falta de afinação, foi identificado como um sistema completo insuficiente ou ineficiente, em que a embalagem final (S2) e a máquina embaladora (S1) são as substâncias e a operação de embalagem o campo F.

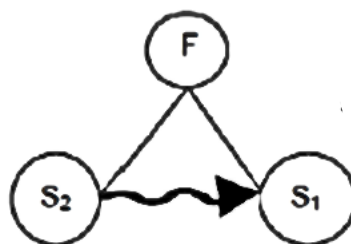


Figura 5.7 – Sistema Completo Insuficiente ou Ineficiente

Optou-se pela solução geral 3, modificar a substância S1, em que consiste no investimento de uma nova máquina de embalagem. Com esta solução, haveria um aumento da produtividade da linha e consequentemente, o OEE, o que implicaria uma maior eficiência.

Após a realização de um *Brainstorming*, foi construída uma matriz que identifica as interações (negativas ou positivas) entre os requisitos técnicos.

Foram identificados 6 parâmetros técnicos e construída a Matriz Idealidade, através da análise dos problemas, sendo estes a produtividade, disponibilidade dos equipamentos, manutibilidade, mão de obra da linha, custos de manutenção dos equipamentos da linha e outros custos. A Matriz Idealidade com os parâmetros identificados pode ser consultada no Anexo C.

Ao serem analisadas as interações entre os 6 parâmetros, obteve-se um nível de idealidade muito baixo (0,278), devido ao elevado número de interações negativas face às positivas (18 para 5). Também foi possível verificar-se que a produtividade causa interações negativas em todos os parâmetros. Posto isto e a fim de otimizar a idealidade, ao melhorar este parâmetro, que passaria por haver um investimento numa máquina de empacotamento, obter-se-ia um novo nível de idealidade de 0,714, que apesar de ter custos de aquisição elevados tornaria o sistema em estudo mais eficiente.

6 Discussão de Resultados

De modo a identificar boas práticas nas rotinas organizacionais de cada estudo de caso, é necessária uma reflexão mais específica para codificar o conhecimento e para que os factos descritos possam ser ordenados e estruturados, de forma a confirmar as hipóteses de pesquisa.

Em cada estudo de caso, foram analisadas áreas e processos problemáticos específicos. Esses problemas e contradições foram inicialmente diagnosticados pelas empresas, existindo assim discrepâncias de eficiência inicial, devido ao nível existente de *Lean* implementado em cada empresa.

Tendo-se como exemplo inicial a empresa MFTE, uma empresa de grande dimensão com nível tecnológico médio, onde a implementação das ferramentas *Lean* está num estado muito maduro. Foram analisadas duas estações de trabalho, numa linha de montagem de camiões, onde o processo é não contínuo, e através de uma auditoria interna *Lean*, foram identificadas oportunidades de melhoria, levando em consideração os problemas existentes em termos de eficiência e segurança ergonômica. A aplicação das ferramentas *TRIZ* conferiu uma resolução dos problemas completa e complexa, de uma forma simples tendo em conta a especificidade do problema abordado.

Apesar da existência de um nível *Lean* maduro, isso não nos permite eliminar as contradições e consequentemente ter uma melhoria na eficiência do processo, daí a necessidade de aplicar as ferramentas *TRIZ*. Verificou-se que o nível de idealidade existente já era alto, mas os problemas existiam, por isso, através da aplicação da análise substância-campo em processos problemáticos, foram encontradas soluções, mas também mais contradições que foram resolvidas iterativamente com a aplicação de várias análises substância-campo. Após a implementação das soluções, os problemas iniciais foram resolvidos e alcançou-se uma percentagem de idealidade muito superior, cerca de 512%, superior ao nível de idealidade inicial, esta percentagem resulta da comparação entre o nível de idealidade inicial e o nível de idealidade final. Também foi evidente que existe a necessidade de investimento em formação a nível das boas práticas ergonómicas, por forma a evitar fatores de risco ou haver sugestões de melhoria.

Em relação à DanCake, é uma empresa de médio dimensão e de baixo nível tecnológico, onde o nível de *Lean* era muito insípido em relação à empresa anterior, daí os problemas encontrados na linha de produção analisada apresentaram um carisma mais redundante, conferindo assim um nível de eficiência muito menor do que o esperado. Mais uma vez, a ferramenta *Lean (OEE)* só revelou um problema e não forneceu uma solução concreta. Com a implementação das ferramentas *TRIZ*, foi possível verificar que o nível inicial de idealidade para a linha de produção nº 3 foi muito baixo, devido ao alto número de interações negativas presentes no processo contínuo, mas também identificou contradições, que foram inicialmente não quantificadas. Após a resolução dos problemas, o nível de idealidade proposto traduz-se num aumento de cerca de 250% face ao nível de idealidade inicial, o

que proporcionou uma maior produtividade da linha, redução de desperdícios e consequentemente atingiu-se um nível maior de *OEE* do que o esperado.

O estudo de caso relativo à Sandomental, uma empresa do setor de alta tecnologia, apresentava um nível *Lean* e *TRIZ* totalmente inexistente, razão pela qual, inicialmente, haver a possibilidade de aplicar simultaneamente as ferramentas *Lean-TRIZ*. Uma auditoria 5S foi elaborada a nível organizacional, o que levou à identificação de vários problemas em vários processos. Após uma comparação dos problemas existentes, inferiu-se que é no armazém que os problemas residem e, por essa razão, existe um baixo nível de idealidade. Com as mudanças efetuadas, foi possível alcançar um nível final de idealidade de cerca de 500% superior ao inicial.

Fazendo uma análise global ao nível de idealidade, concluímos que o estudo de caso da empresa *Fuso* foi o que obteve os melhores resultados dado que foi analisado um processo específico, uma linha de revestimento onde participam 13 operadores de linha, existe assim uma forma mais precisa para identificar e resolver problemas existentes como também capacidade de investimento para a formação de operadores, levando a uma menor resistência à aplicação de ferramentas *Lean-TRIZ*.

A mesma conclusão é suportada para a *Sandometal*, que pertence a um setor de alta tecnologia com igualmente 13 operadores na unidade de produção estudada, onde os processos são mais complexos, requerem trabalho mais especializado e alcançaram um nível de idealidade menor face ao anterior, devido ao estudo se focar numa análise geral da empresa, sendo, portanto, mais provável a existência de novos problemas que não foram identificados inicialmente, que são de uma área específica.

Em relação à empresa *Dancake*, embora tenha sido feito o estudo a um processo específico, a linha nº 3 onde operam 27 operadores de linha, temos a condição de ser um setor de baixa tecnologia que influencia significativamente os resultados mostrando a necessidade de formação, pois a implementação das ferramentas *Lean-TRIZ* sofrerão uma maior resistência devido ao número de operadores envolvidos no processo e a inércia mental à mudança das suas operações de rotina.

Podemos verificar que, independentemente do tamanho da empresa, do setor onde opera, do nível de *Lean* implementado ou do tipo de organização empresarial, a aplicação das ferramentas *Lean-TRIZ* atinge sempre os objetivos definidos, aumentando o nível de idealidade e confirmando desta forma a hipótese 1 apresentada no quarto capítulo, sendo que a disponibilidade de investimento em ferramentas inovadoras e em formação, restringem as potencialidades das ferramentas havendo assim uma melhor ou pior aplicação das mesmas.

Com as melhorias obtidas em cada estudo de caso, podemos verificar que a aplicação das ferramentas *TRIZ* conjuntamente com as ferramentas *Lean* são fatores diferenciadores e os principais responsáveis pela melhoria.

No caso de estudo *Fuso*, podemos verificar que as ferramentas *Lean* conseguem identificar problemas, mas não conseguem resolver problemas de elevada complexidade, estas são solucionadas com a aplicação de ferramentas *TRIZ*, deste modo foi possível perceber diversas oportunidades de melhoria, que inicialmente não tinham sido contabilizadas, ou seja, a aplicação das ferramentas *TRIZ* tem como objetivo resolver problemas e contradições que são consideradas como premissas existentes, mas que não são possíveis de serem solucionadas pelas ferramentas *Lean*, confirmando-se assim a hipótese 2 apresentada no quarto capítulo.

De forma a obter uma melhor compreensão em relação aos valores obtidos, foram elaboradas várias análises comparativas, onde os fatores dimensão da empresa, setor tecnológico, tipologia do processo, nível de implementação *Lean* e número de intervenientes, foram interrelacionados tendo por base a percentagem de melhoria obtida através do nível de idealidade. Estas análises podem ser consultadas em Anexo II. Por fim foi elaborada uma análise geral com todos os fatores abordados anteriormente, de forma a suportar todos os resultados obtidos e desenvolver-se um enquadramento generalizado relativo ao desempenho de cada empresa.

Com base na análise geral efetuada, foi validada a hipótese 3, apresentada no quarto capítulo, relativamente à independência da aplicação conjunta entre o *TRIZ* e *Lean* e a dimensão da empresa, ramo de atividade (setor) e o nível de maturidade do *Lean*, contudo foi verificada que a obtenção de melhores resultados a nível de desempenho, está condicionado pelo número de intervenientes nos processos. A análise geral pode ser visualizada na Figura 6.1.

Tabela 6.1 - Tabela Comparativa Geral dos Estudos de Caso

		Pequena Dimensão			Média Dimensão			Grande Dimensão		
Tecnologia Nível Lean		Low	Medium	High	Low	Medium	High	Low	Medium	High
Poucos Intervenientes	Alto - Médio								MFTE 512%	
	Baixo									
	Inexistente			Sandometal 500%						
Muitos Intervenientes	Alto - Médio									
	Baixo				Dancake 250%					
	Inexistente									

7 Conclusões

O estudo desenvolvido no âmbito da dissertação centrou-se na análise de três estudos de caso, onde existiu a aplicação conjunta das metodologias *Lean* e *TRIZ*. As empresas referidas em cada estudo de caso pertencem a diferentes setores, dimensões e tem diferentes níveis de *Lean* implementados, conferindo ao estudo uma análise empírica geral. Desta forma o estudo define o comportamento geral das organizações face à implementação de metodologias e ferramentas inovadoras, sem se restringir a casos particulares com foco em avaliações e comparações do mesmo setor ou da mesma dimensão.

Tendo como linha de comparação o nível de idealidade e analisando o desempenho individual de cada estudo de caso, conclui-se que a aplicação das ferramentas *TRIZ*, tem um efeito catalisador na melhoria de processos tanto em cenários com um nível de *Lean* inexistente, como em níveis de *Lean* médios ou níveis de *Lean* maduros, concluindo assim que a implementação das ferramentas *TRIZ* confere sempre aos processos melhorias a nível de desempenho.

No entanto é importante realçar que as potencialidades das ferramentas *TRIZ* são impulsionadas de forma mais direta, com a aplicação conjunta das metodologias *Lean*. A *TRIZ* foca-se na otimização de elementos específicos, enquanto o *Lean* tem em conta o sistema total, de forma a identificar potenciais formas de melhoria. A complementação das duas ferramentas *TRIZ* e *Lean*, traduz-se na identificação de problemas através das metodologias *Lean*, e resoluções específicas para os problemas encontrados, por parte das ferramentas de geração de soluções da *TRIZ*, bem como a identificação de novas situações problemáticas, melhorando assim de forma sistemática os processos, e conseqüentemente, conferindo uma aproximação à idealidade.

Recorrendo a análises comparativas entre o setor em estudo, a dimensão da empresa, o nível de *Lean* inicial e o número de intervenientes envolvidos em cada processo, obteve-se uma análise global que permitiu concluir que as discrepâncias obtidas relativas aos níveis de idealidade de cada estudo de caso, são despoletadas pelo número de intervenientes com participação ativa nos processos em estudo, independentemente do nível de *Lean* implementado inicialmente.

A resistência à mudança, com introdução de novas formas inovadoras de trabalho, a falta de formação especializada, devido à incapacidade de disponibilização de investimento para esse fim, por parte das empresas bem como a inércia mental, condicionam a aplicação das soluções encontradas para a resolução dos problemas pelas ferramentas, levando assim a um crescimento mais reduzido do nível de idealidade.

Conclui-se assim que o investimento em formação é um fator importante para a obtenção de melhores níveis de desempenho para além da aplicação de metodologias e ferramentas inovadoras, desta forma é possível ultrapassar a resistência dos intervenientes à mudança e da organização se

conseguir impor, se definir no mercado como inovadora, diferenciadora a nível de desempenho e competitiva.

Com este estudo foi possível comprovar as hipóteses desenvolvidas, bem como definir uma análise empírica geral, que disponibiliza a evolução do desempenho de sistemas de produção em ambientes distintos, utilizando os níveis de idealidade como indicador. Esta análise é aplicável a qualquer tipo de organização, independentemente do tipo de negócio, setor, dimensão ou ferramentas *Lean* aplicadas.

Referências Bibliográficas

- Altshuller, G. S. (1999). Tools of Classical TRIZ. Ideation International Incorporated.
- Altshuller, G. (2001). 40 Principles-TRIZ Keys to Technical Innovation. Technical Innovation Center.
- Altshuller, G and Shulyak, L and Rodman, S. 2002. 40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation. Worcester, MA: Technical Innovation Center, Inc.
- Altshuller, G. 2004. And Suddenly the Inventor Appeared. edited by S. Shulyak, Lev; Rodman. Worcester, MA: Technical Innovation Center, Inc.
- Altshuller, G., 2007. Innovation Algorithm. Worcester, Technical Innovation Center.
- Alves, J.F. (2015). *Aplicação da Metodologia TRIZ e Princípios Ergonômicos à Análise e Conceção de Sistemas num Ambiente de Melhoria Contínua*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Back, N. (2008). Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Montagem.
- Barry, K., Domb, E. & Slocum, M. (2008). What is TRIZ, <https://triz-journal.com/triz-what-is-triz/> [Acedido em 3 Agosto 2017].
- Bell, S. C. (2010). *Lean IT: Enabling and sustaining your lean transformation*. New York: Productivity Press.
- Bligh, A. (2006). The Overlap Between TRIZ and Lean. University of Rhode Island.
- Bortolotti, T., Danese, P., Romano, P. (2013). Assessing the impact of just-in-time on operational performance at varying degrees of repetitiveness. *International Journal of Production Research*, 51 (4), 1117-1130.
- Browning, T. R., Heath, R. D. (2009). Reconceptualising the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program. *Journal of Operations Management*, 27 (1), 23–44.
- Carvalho, M. A. (2007). Metodologia Ideatriz para a Ideação de Novos Produtos, Florianópolis: Universidade de Santa Catarina.
- Carvalho, M. & Back, N. (2001). Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do método dos princípios inventivos no desenvolvimento de produtos. Florianópolis: 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto.
- Cooney, R. (2002). Is Lean a Universal Production System? Batch Production in the Automotive Industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 22 (9), 1130-1147.

- Cox, A., Chicksand, D. (2005). The Limits of Lean Management Thinking: Multiple Retailers and Food and Farming Supply Chains. *European Management Journal*, 23(6), 648-662.
- Cusumano, M. A. (1994). The Limits of Lean. *Sloan Management Review*, 35, 27-32.
- Danese, P., Romano, P., Bortolotti, T. (2012). JIT production, JIT supply and performance: investigating the moderating effects. *Industrial Management & Data Systems*, 112 (3), 441-465.
- Demeter, K. & Matyusz, Z. (2011). The impact of Lean practices on inventory turnover. *International Journal of Production Economics*, (Vol. 133, nº 1, pp. 154–163).
- Dennis, P. (2007). *Lean Production simplified: A plain-language guide to the world's most powerful production system*. 2ª Edição, Productivity Press. New York.
- Duguay, C. R., Landry, S., & Pasin, F. (1997). From mass production to flexible/agile production. *International Journal of Operations & Production Management*, 17, pp. 1183-1195.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Making fast strategic decisions in high-velocity environments. *Academy of Management Journal*, 32 (3), 543-576.
- Fey, V. R. & Rivin, E. I. (1997). *The Science of Innovation: A managerial overview of the TRIZ methodology*. West Bloomfield: TRIZ Group.
- Florida, R. (1996). Lean and green: the move to environmentally conscious manufacturing. *California Management Review*, 39 (1), 80–105.
- Gadd, K. (2011). *TRIZ For Engineers: Enabling Inventive Problem Solving* (1ª ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- Hall, R. (1987). *Attaining Manufacturing Excellence – Just in Time, Total Quality, Total People Involvement*. Edições Homewood.
- Hallgren, M., Olhager, J. (2009). Lean and agile manufacturing: external and internal drivers and performance outcomes. *International Journal of Operations e Production Management*, 29 (10), 976-999.
- Hines, P., Holweg, M., Rich, N. (2004). Learning to evolve: a review of contemporary lean Thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24 (10), 994-1011
- Hipple, J. (2003), The Integration of TRIZ Problem Solving Techniques with other Problem Solving and Assessment Tools, *The TRIZ Journal*, www.trizjournal.com
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420-437
- Huang, S. H., Dismukes, J. P., Shi, J. & Robinson, D. (2002). Manufacturing System Modeling Productivity Improvement. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 21.

Ikovenko S. (2004). TRIZ as a Lean Thinking Tool. ETRIA TRIZ Future Conference, Florence, Italy. Available at: <http://www.triz-journal.com/archives/2005/02/02.pdf>

Ikovenko, S. & Bradley, J. (2004). TRIZ as a Lean Thinking Tool.

Ilevbare, I., Phaal, R., Probert, D., & Padilla, A. T. (2011). Integration of TRIZ and roadmapping for innovation, strategy, and problem solving. Centre for Technology Management.

Ilevbare, I., Probert, D., & Phaal, R. (2013). A review of TRIZ and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, 33, pp. 30-37.

Jacobs, F., Chase, R. & Aquilano, N. (2006). *Operations Management. for Competitive Advantage*. 11th edition. McGraw-Hill/Irwin.

Kim, C., Spahlinger, D., Kin, J. et al. (2006). Lean Health Care: What can hospitals learn from a worldclass automaker? *Journal of Hospital Medicine*. Wiley On-line Library, (Vol. 1, nº 3, pp. 191-199).

Kim, C. S. et al. (2007). The application of lean thinking to the care of patients with bone and brain metastasis with radiation therapy. *Journal of Oncology Practice*, pp. 191-193.

King, A. A., Lenox, M. J. (2001). Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. *Production and Operations Management*, 10 (3), 244–256.

Krasnoslobodtsev, V. (2012). Essential TRIZ for Beginners - Innovación Sistemática | Curso Introducción Al TRIZ Clásico. Retrieved February 10, 2015 (<http://www.innovacion-sistemica.net/cursointroduccion-al-triz-clasico>).

Kubota, F. & Rosa, L. (2012). A Triz (Theory of Inventive Problem Solving) Aplicada à Produção Mais Limpa. *Revista Gestão Industrial*, (Vol. 8, nº 03, pp. 109-125).

Li, T. & Huang, H. (2009). Applying TRIZ and Fuzzy AHP to develop innovative design for automated manufacturing systems. *Expert Systems with Applications*, (Vol. 36, nº 4, pp. 8302-8312).

Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGrawHill Professional.

Maccoby, M. (1997). Is there a best way to build a car? *Harvard Business Review*, 161-170.

Marques, J. (2014). Aplicação da Metodologia TRIZ e da Manutenção Autônoma em Atividades de Manutenção Industrial. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Moyano-Fuentes, J., Martínez-Jurado, P. J., Maqueira Marín, J. M., Bruque Cámara, S. (2012). El papel de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en la búsqueda de la eficiencia:

un análisis desde Lean Production y la integración electrónica de la cadena de suministro. Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa, 15 (3), 105-116.

Nakajima, S. (1988). Introduction to Total Productive Maintenance (TPM). 1ª edição ed. Cambridge: Productivity Press.

Narasimhan, R., Swink, M., Kim, S. W. (2006). Disentangling leanness and agility: an empirical investigation. *Journal of Operations Management*, 24, 440–447.

Navas, H. (2011). Inovação Sistemática e Manutenção Lean. *Manutenção*, No 110/111, 3o e 4o Trimestres, 73–75.

Navas, H. (2013a). TRIZ Uma Metodologia Para a Resolução de Problemas. Guia de Empresas Certificadas, Cempalavras Comunicação Empresarial, Lda, Lisboa.

Navas, H. (2013b). TRIZ: Design Problem Solving with Systematic Innovation. P. 75 to 97 in *Advances in Industrial Design Engineering*. InTech.

Navas, H. (2014a). Fundamentos Do TRIZ - Parte I - Necessidade de Resolver Problemas. *Inovação & Empreendedorismo Newsletter* nro 50.

Navas, H. (2014b). Fundamentos Do TRIZ - Parte II - Níveis de Inovação. *Inovação & Empreendedorismo Newsletter* no 51 - Maio 2014 - Vida Económica.

Navas, H. (2014c). Fundamentos Do TRIZ - Parte IV - Análise de Recursos. *Inovação & Empreendedorismo Newsletter* no 53 - Julho 2014 - Vida Económica.

Navas, H. (2014d). Fundamentos Do TRIZ - Parte VI - Aplicação de Bases de Dados de Causas E Efeitos. *Inovação & Empreendedorismo Newsletter* no 55 - Outubro 2014 - Vida Económica.

Navas, H. (2014e). Fundamentos Do TRIZ - Parte VII - Modelo Substância-Campo. *Inovação & Empreendedorismo, Newsletter* no 57 - Dezembro 2014 - Vida Económica.

Navas, H. (2015a). Fundamentos Do TRIZ - Parte IX - Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas. *Inovação & Empreendedorismo Newsletter* no 58 - Janeiro 2015- Vida Económica.

Navas, H. (2015b). Fundamentos Do TRIZ - Parte XI -Ferramentas Para Vencer a Inércia Mental. *Inovação & Empreendedorismo Newsletter* no 60 - Março 2015 - Vida Económica.

Navas, H. and V. Machado. (2011). The Lifeline of Technical Systems in a TRIZ-LEAN Environment. in *ETRIA TRIZ Future 2011*. Dublin, Ireland.

Nogueira, M. (2010). Implementação da gestão da produção Lean: estudo de caso. Caparica: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre.

- Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean*. Lisboa: Lidel Edições Técnicas Lda.
- Prince, J., Kay, J. M. (2003). Combining lean and agile characteristics: creation of virtual groups by enhanced production flow analysis. *International Journal of Production Economics*, 85 (3), 305-318.
- Pombo, I. M. (2015). *Metodologias TRIZ e Lean numa Indústria de Unidades de Tratamento de Ar e Ventilação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Radeka, K. (2007). TRIZ for Lean Innovation Increase Your Ability to Leverage Innovation across the Enterprise and beyond Solution TRIZ for Lean Innovation. Whittier Consulting Group, Inc. WA, USA.
- Ramos, C.P. (2015). *Aplicação da Metodologia TRIZ numa Indústria Alimentar*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Rantanen, K., & Domb, E. (2002). *Simplified TRIZ: New Problem-Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. CRC Press, LLC.
- Rantanen, K. & Domb, E. (2008). *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. New York; London: Auerbach Publications: A Taylor & Francis Group.
- Rantanen, K., Domb E. (2008). *Simplified TRIZ - New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. Auerbach Publications - Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- Riani, A. (2006). *O lean manufacturing aplicado na Betcon Dickinson*. Universidade Federal de Juiz de Fora. MG – Brasil
- Rothenberg, S., Pil, F. K., Maxwell, J., (2001). Lean, green, and the quest for superior environmental performance. *Production and Operations Management*, 10 (3), 228–243.
- Santos, A; Ferreira, C; Forcellini, F. (2009). *Projeto Conceitual - TRIZ*. Universidade Federal de Sergipe, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas Núcleo de Engenharia de Produção.
- Savransky, S. D. (2000). *Engineering of Creativity: (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving)*. New York Boca Raton: CRC Press.
- Shirwaiker, R. & Okudan,G., (2006). Contribution of TRIZ and axiomatic design to leanness in design: an investigation
- Siggelkow, N. (2007). Persuasion with case studies. *Academy of Management Journal*, 50 (1), 20-24.
- Silverman, D. (2001). *Interpreting qualitative data: methods for analysing talk, text and interaction*. London: Sage Publications.

- Stratton, R., Warburton, R. D. (2003). The strategic integration of agile and lean supply. *International Journal of Production Economics*, 85 (2), 183-198.
- Stuart, I., McCutcheon, D., Handfield, R., McLachlin, R., Sampson, D. (2002). Effective case research in operations management: a process perspective. *Journal of Operations Management*, 20 (5), 419–433.
- Suzaki, K. (2010). *Gestão de Operações Lean: Metodologias Kaizen para a melhoria contínua*. The Free Press.
- Suzuki, Y. (2004). Structure of the Japanese Production System: Elusiveness and Reality. *Asian Business & Management*, 3, 201-219.
- Thurnes, C. (2013). Lean-TRIZ instead of TRIZ-Lean. P. 789 to 795 in *Proceedings of the TRIZ, Conference Future 2013*. Paris, France.
- Tsarouhas, P. H. (2013). Evaluation of Overall Equipment Effectiveness in the Beverage Industry: A Case Study. *International Journal of Production Research*, pp. 515-523.
- Venkat, K., Wakeland, W. (2006). Is lean necessarily green? *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the ISSS-2006*, Sonoma, USA.
- Womack, J. P., Jones, D.T., Ross, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: MacMillan/ Rawson Associates.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation* (2003 ed.). New York: Free Press.
- Womack, J., Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking*. London: Simon and Schuster.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2005). *Lean Solutions: How Companies and Customers Can Create Value and Wealth Together*. New York: Free Press.
- Worley, J. & Doolen, T. (2006). The role of communication and management support in a lean manufacturing implementation. *Management Decision*, Volume 44(2), pp. 228-243.
- Yao, A. C., Carlson, J. G. (2003). Agility and mixed-model furniture production. *International Journal of Production Economics*, 81, 95-102.
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: design and methods*. Sage publications.

Anexos

Anexo A – Matriz de Contradições

Tabela A. 7 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 1-20 vs. Resultados Indesejados 1-13) (Adaptado de Altshuller, 2001)

Características		Resultados indesejados												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Características a melhorar	1 Peso (objecto móvel)	-	-	15, 8 29, 34	-	29, 17 38, 34	-	29, 2 40, 28	-	2, 8 15, 38	8, 10 18, 37	10, 36 37, 40	10, 14 35, 40	1, 35 19, 39
	2 Peso (objecto imóvel)	-	-	-	10, 1 29, 35	-	35, 30 13, 2	-	5, 35 14, 2	-	8, 10 19, 35	13, 29 10, 18	13, 10 29, 14	26, 39 1, 40
	3 Comprimento (objecto móvel)	8, 15 29, 34	-	-	-	15, 17 4	-	7, 17 4, 35	-	13, 4 8	17, 10 4	1, 8 35	1, 8 10, 29	1, 8 15, 34
	4 Comprimento (objecto imóvel)	-	35, 28 40, 29	-	-	-	17, 7 10, 40	-	35, 8 2, 14	-	28, 10	1, 14 35	13, 14 15, 7	39, 37 35
	5 Área (objecto móvel)	2, 17 29, 4	-	14, 15 18, 4	-	-	-	7, 14 17, 4	-	29, 30 4, 34	19, 30 35, 2	10, 15 36, 28	5, 34 29, 4	11, 2 13, 39
	6 Área (objecto imóvel)	-	30, 2 14, 18	-	26, 7 9, 39	-	-	-	-	-	1, 18 35, 36	10, 15 36, 37	-	2, 38
	7 Volume (objecto móvel)	2, 26 29, 40	-	1, 7 4, 35	-	1, 7 4, 17	-	-	-	29, 4 38, 34	15, 35 36, 37	6, 35 36, 37	1, 15 29, 4	28, 10 1, 39
	8 Volume (objecto imóvel)	-	35, 10 19, 14	19, 14	35, 8 2, 14	-	-	-	-	-	2, 18 37	24, 35	7, 2 35	34, 28 35, 40
	9 Velocidade	2, 28 13, 38	-	13, 14 8	-	29, 30 34	-	7, 29 34	-	-	13, 28 15, 19	6, 18 38, 40	35, 15 18, 34	28, 33 1, 18
	10 Força	8, 1 37, 18	18, 13 1, 28	17, 19 9, 36	28, 10	19, 10 15	1, 18 36, 37	15, 9 12, 37	2, 36 18, 37	13, 28 15, 12	-	18, 21 11	10, 35 40, 34	35, 10 21
	11 Tensão, pressão	10, 36 37, 40	13, 29 10, 18	35, 10 36	35, 1 14, 16	10, 15 36, 28	10, 15 36, 37	6, 35 10	35, 24	6, 35 36	36, 35 21	-	35, 4 15, 10	35, 33 2, 40
	12 Forma	8, 10 29, 40	15, 10 26, 3	29, 34 5, 4	13, 14 10, 7	5, 34 4, 10	-	14, 4 15, 22	7, 2 35	35, 15 34, 18	35, 10 37, 40	34, 15 10, 14	-	33, 1 18, 4
	13 Estabilidade do objecto	21, 35 2, 39	26, 39 1, 40	13, 15 1, 28	37	2, 11 13	39	28, 10 19, 39	34, 28 35, 40	33, 15 28, 18	10, 35 21, 16	2, 35 40	22, 1 18, 4	-
	14 Resistência	1, 8, 40 15	40, 26 27, 1	1, 15 8, 35	15, 14 28, 26	3, 34 40, 29	9, 40 28	10, 15 14, 7	9, 14 17, 15	8, 13 26, 14	10, 18 3, 14	10, 3 18, 40	10, 30 35, 40	13, 17 35
	15 Durabilidade (objecto móvel)	19, 5 34, 31	-	2, 19 9	-	3, 17 19	-	10, 2 19, 30	-	3, 35 5	19, 2 16	19, 3 27	14, 26 28, 25	13, 3 35
	16 Durabilidade (objecto imóvel)	-	6, 27 19, 16	-	1, 40 35	-	-	-	35, 34 38	-	-	-	-	39, 3 35, 23
	17 Temperatura	36, 22 6, 38	22, 35 32	15, 19 9	15, 19 9	3, 35 39, 18	35, 38	34, 39 40, 18	35, 6 4	2, 28 36, 30	35, 10 3, 21	35, 39 19, 2	14, 22 19, 32	1, 35 32
	18 Claridade	19, 1 32	2, 35 32	19, 32 16	-	19, 32 26	-	2, 13 10	-	10, 13 19	26, 19 6	-	32, 30	32, 3 27
	19 Energia dispensada (objecto móvel)	12, 18 28, 31	-	12, 28	-	15, 19 25	-	35, 13 18	-	8, 35	16, 26 21, 2	23, 14 25	12, 2 29	19, 13 17, 24
	20 Energia dispensada (objecto imóvel)	-	19, 9 6, 27	-	-	-	-	-	-	-	36, 37	-	-	27, 4 29, 18

Tabela A. 8 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 1-20 vs. Resultados Indesejados 14-26) (Adaptado de Altshuller, 2001)

Características			Resultados indesejados												
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Características a melhorar	1	Peso (objecto móvel)	28, 27 18, 40	5, 34 31, 35	-	6, 29 4, 38	19, 1 32	35, 12 34, 31	-	12, 36 18, 31	6, 2 34, 19	5, 35 3, 31	10, 24 35	10, 35 20, 28	3, 26 18, 31
	2	Peso (objecto imóvel)	28, 2 10, 27	-	2, 27 19, 6	28, 19 32, 22	19, 32 35	-	18, 19 28, 1	15, 19 18, 22	18, 19 28, 15	5, 8 13, 30	10, 15 35	10, 20 35, 26	19, 6 18, 26
	3	Comprimento (objecto móvel)	8, 35 29, 34	19	-	10, 15 19	32	8, 35 24	-	1, 35	7, 2 35, 39	4, 29 23, 10	1, 24	15, 2 29	29, 35
	4	Comprimento (objecto imóvel)	15, 14 28, 26	-	1, 40 35	3, 35 38, 18	3, 25	-	-	12, 8	6, 28	10, 28 24, 35	24, 26	30, 29 14	-
	5	Área (objecto móvel)	3, 15 40, 14	6, 3	-	2, 15 16	15, 32 19, 13	19, 32	-	19, 10 32, 18	15, 17 30, 26	10, 35 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30 6, 13
	6	Área (objecto imóvel)	40	-	2, 10 19, 30	35, 39 38	-	-	-	17, 32	17, 7 30	10, 14 18, 39	30, 16	10, 35 4, 18	2, 18 40, 4
	7	Volume (objecto móvel)	9, 14 15, 7	6, 35 4	-	34, 39 10, 18	2, 13 10	35	-	35, 6 13, 18	7, 15 13, 16	36, 39 34, 10	2, 22	2, 6 34, 10	29, 30 7
	8	Volume (objecto imóvel)	9, 14 17, 15	-	35, 34 38	35, 6 4	-	-	-	30, 6	-	10, 39 35, 34	-	35, 16 32, 18	35, 3
	9	Velocidade	8, 3 26, 14	3, 19 35, 5	-	28, 30 36, 2	10, 13 19	8, 15 35, 38	-	19, 35 38, 2	14, 20 19, 35	10, 13 28, 38	13, 26	-	10, 19 29, 38
	10	Força	35, 10 14, 27	19, 2	-	35, 10 21	-	19, 17 10	1, 16 36, 37	19, 35 18, 37	14, 15	8, 35 40, 5	-	10, 37 36	14, 29 18, 36
	11	Tensão, pressão	9, 18 3, 40	19, 3 27	-	35, 39 19, 2	-	14, 24 10, 37	-	10, 35 14	2, 36 25	10, 36 3, 37	-	37, 36 4	10, 14 36
	12	Forma	30, 14 10, 40	14, 26 9, 25	-	22, 14 19, 32	13, 15 32	2, 6 34, 14	-	4, 6 2	14	35, 29 3, 5	-	14, 10 34, 17	36, 22
	13	Estabilidade do objecto	17, 9 15	13, 27 10, 35	39, 3 35, 23	35, 1 32	32, 3 27, 15	13, 19	27, 4 29, 18	32, 35 27, 31	14, 2 39, 6	2, 14 30, 40	-	35, 27	15, 32 35
	14	Resistência		27, 3 26	-	30, 10 40	35, 19	19, 35 10	35	10, 26 35, 28	35	35, 28 31, 40	-	29, 3 28, 10	29, 10 27
	15	Durabilidade (objecto móvel)	27, 3 10		-	19, 35 39	2, 19 4, 35	28, 6 35, 18	-	19, 10 35, 38	-	28, 27 3, 18	10	20, 10 28, 18	3, 35 10, 40
	16	Durabilidade (objecto imóvel)	-	-		19, 18 36, 40	-	-	-	16	-	27, 16 18, 38	10	28, 20 10, 16	3, 35 31
	17	Temperatura	10, 30 22, 40	19, 13 39	19, 18 36, 40		32, 30 21, 16	19, 15 3, 17	-	2, 14 17, 25	21, 17 35, 38	21, 36 29, 31	-	35, 28 21, 18	3, 17 30, 39
	18	Clareza	35, 19	2, 19 6	-	32, 35 19		32, 1 19	32, 35 1, 15	32	13, 16 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1 26, 17	1, 19
	19	Energia dispensada (objecto móvel)	5, 19 9, 35	28, 35 6, 18	-	19, 24 3, 14	2, 15 19		-	6, 19 37, 18	12, 22 15, 24	35, 24 18, 5	-	35, 38 19, 18	34, 23 16, 18
	20	Energia dispensada (objecto imóvel)	35	-	-	-	19, 2 35, 32	-		-	-	28, 27 18, 31	-	-	3, 35 31

Tabela A. 9 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 1-20 vs. Resultados Indesejados 27-39) (Adaptado de Altshuller, 2001)

Características			Resultados indesejados												
			27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Características a melhorar	1	Peso (objecto móvel)	3, 11 1, 27	28, 27 35, 26	28, 35 26, 18	22, 21 18, 27	22, 35 31, 39	27, 28 1, 36	35, 3 2, 24	2, 27 28, 11	29, 5 15, 8	26, 30 36, 34	28, 29 26, 32	26, 35 18, 19	35, 3 24, 37
	2	Peso (objecto imóvel)	10, 28 8, 3	18, 26 28	10, 1 35, 17	2, 19 22, 37	35, 22 1, 39	28, 1 9	6, 13 1, 32	2, 27 28, 11	19, 15 29	1, 10 26, 39	25, 28 17, 15	2, 26 35	1, 28 15, 35
	3	Comprimento (objecto móvel)	10, 14 29, 40	28, 32 4	10, 28 29, 37	1, 15 17, 24	17, 15 17	1, 29 35, 4, 7	15, 29 10	1, 28 1, 16	14, 15 26, 24	1, 19 26, 24	35, 1 26, 24	17, 24 26, 16	14, 4 28, 29
	4	Comprimento (objecto imóvel)	15, 29 28	32, 28 3	2, 32 10	1, 18	-	15, 17 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26	-	30, 14 7, 26
	5	Área (objecto móvel)	29, 9	26, 28 32, 3	2, 32	22, 33 28, 1	17, 2 18, 39	13, 1 26, 24	15, 17 13, 16	15, 13 10, 1	15, 30	14, 1 13	2, 36 26, 18	14, 30 28, 23	10, 26 34, 2
	6	Área (objecto imóvel)	32, 35 40, 4	26, 28 32, 3	2, 29 18, 36	27, 2 39, 35	22, 1 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18 36	2, 35 30, 18	23	10, 15 17, 7
	7	Volume (objecto móvel)	14, 1 40, 11	26, 28	25, 28 2, 16	22, 21 27, 35	17, 2 40, 1	29, 1 40	15, 13 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26 4	35, 34 16, 24	10, 6 2, 34
	8	Volume (objecto imóvel)	2, 35 16	-	35, 10 25	34, 39 19, 27	30, 18 35, 4	35	-	1	-	1, 31	2, 17 26	-	35, 37 10, 2
	9	Velocidade	11, 35 27, 28	28, 32 1, 24	10, 28 32, 35	1, 28 35, 23	2, 24 35, 21	35, 13 8, 1	32, 28 13, 12	34, 2 28, 27	15, 10 26	10, 28 4, 34	3, 34 27, 16	10, 18	-
	10	Força	3, 35 13, 21	35, 10 23, 24	28, 29 37, 36	1, 35 40, 18	13, 3 36, 24	15, 37 18, 1	1, 28 3, 25	15, 1 11	15, 17 18, 20	26, 35 10, 18	36, 37 10, 19	2, 35	3, 28 35, 37
	11	Tensão, pressão	10, 13 19, 35	6, 28 25	3, 35	22, 2 37	2, 33 27, 18	1, 35 16	11	2	35	19, 1 35	2, 36 37	35, 24	10, 14 35, 37
	12	Forma	10, 40 16	28, 32 1	32, 30 40	22, 1 2, 35	35, 1	1, 32 17, 28	32, 15 26	2, 13 1	1, 15 29	16, 29 1, 28	15, 13 39	15, 1 32	17, 26 34, 10
	13	Estabilidade do objecto	-	13	18	35, 24 30, 18	35, 40 27, 39	35, 19	32, 35 30	2, 35 10, 16	35, 30 34, 2	2, 35 22, 26	35, 22 39, 23	1, 8 35	23, 35 40, 3
	14	Resistência	11, 3	3, 27 16	3, 27	18, 35 37, 1	15, 35 22, 2	11, 3 10, 32	32, 40 28, 2	27, 11 3	15, 3 32	2, 13 25, 28	27, 3 15, 40	15	29, 35 10, 14
	15	Durabilidade (objecto móvel)	11, 2 13	3	3, 27 16, 40	22, 15 33, 28	21, 39 16, 22	27, 1 4	12, 27	29, 10 27	1, 35 13	10, 4 29, 15	19, 29 39, 35	6, 10	35, 17 14, 19
	16	Durabilidade (objecto imóvel)	34, 27 6, 40	10, 26 24	-	17, 1 40, 33	22	35, 10	1	1	2	-	25, 34 6, 35	1	20, 10 16, 38
	17	Temperatura	19, 35 3, 10	32, 19 24	24	22, 33 35, 2	22, 35 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10 16	2, 18 27	2, 17 16	3, 27 35, 31	26, 2 19, 16	15, 28 35
	18	Claridade	-	11, 15 32	3, 32	15, 19	35, 19 32, 39	19, 35 28, 26	28, 26 19	15, 17 13, 16	15, 1 19	6, 32 13	32, 15	2, 26 10	2, 25 16
	19	Energia dispensada (objecto móvel)	19, 21 11, 27	3, 1 32	-	1, 35 6, 27	2, 35 6	28, 26 30	19, 35	1, 15 17, 28	15, 17 13, 16	2, 29 27, 28	35, 36	32, 2	12, 28 35
	20	Energia dispensada (objecto imóvel)	10, 36 23	-	-	10, 2 22, 37	19, 22 18	1, 4	-	-	-	-	19, 35 16, 25	-	1, 6

Tabela A. 10 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 21-39 vs. Resultados Indesejados 1-13) (Adaptado de Altshuller, 2001)

Características		Resultados indesejados												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Características a melhorar	21 Potência	8, 36 38, 31	19, 26 17, 27	1, 10 35, 37	-	19, 38	17, 32 13, 38	35, 6 38	30, 6 25	15, 35 2	26, 2 36, 35	22, 10 35	29, 14 2, 40	35, 32 15, 31
	22 Perda de energia	15, 6 19, 28	19, 6 18, 9	7, 2 6, 13	6, 38 7	15, 26 17, 30	17, 7 30, 18	7, 18 23	7	16, 35 38	36, 38	-	-	14, 2 39, 6
	23 Perda de massa	35, 6 23, 40	35, 6 22, 32	14, 29 10, 39	10, 28 24	35, 2 10, 31	10, 18 39, 31	1, 29 30, 36	3, 39 18, 31	10, 13 28, 38	14, 15 18, 40	3, 36 37, 10	29, 35 3, 5	2, 14 30, 40
	24 Perda de informação	10, 24 35	10, 35 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22	26, 32	-	-	-	-
	25 Perda de tempo	10, 20 37, 35	10, 20 26, 5	15, 2 29	30, 24 14, 5	26, 4 5, 16	10, 35 17, 4	2, 5 34, 10	35, 16 32, 18	-	10, 37 36, 5	37, 36 4	4, 10 34, 17	35, 3 22, 5
	26 Quantidade de matéria	35, 6 18, 31	27, 26 18, 35	29, 14 35, 18	-	15, 14 29	2, 18 40, 4	15, 20 29	-	35, 29 34, 28	35, 14 3	10, 36 14, 3	35, 14 17, 40	15, 2
	27 Fiabilidade	3, 8 10, 40	3, 10 8, 28	15, 9 14, 4	15, 29 28, 11	17, 10 14, 16	32, 35 40, 4	3, 10 14, 24	2, 35 24	21, 35 11, 28	8, 28 10, 3	10, 24 35, 19	35, 1 16, 11	-
	28 Precisão de medição	32, 35 26, 28	28, 35 25, 26	28, 26 5, 16	32, 28 3, 16	26, 28 32, 3	26, 28 32, 3	32, 13 6	-	28, 13 32, 24	32, 2	6, 28 32	6, 28 32	32, 35 13
	29 Precisão de fabrico	28, 32 13, 18	28, 35 27, 9	10, 28 29, 37	2, 32 10	28, 33 29, 32	2, 29 18, 36	32, 28 2	25, 10 35	10, 28 32	28, 19 34, 36	3, 35	32, 30 40	30, 18
	30 Factores prejudiciais que actuam sobre o objecto	22, 21 27, 39	2, 22 13, 24	17, 1 39, 4	1, 18	22, 1 33, 28	27, 2 39, 35	22, 23 37, 35	34, 39 19, 27	21, 22 35, 28	13, 35 39, 18	22, 2 37	22, 1 3, 35	35, 24 30, 18
	31 Efeitos colaterais prejudiciais	19, 22 15, 39	35, 22 1, 39	17, 15 16, 22	-	17, 2 18, 39	22, 1 40	17, 2 40	30, 18 35, 4	35, 28 3, 23	35, 28 1, 40	2, 33 27, 18	35, 1 1	35, 40 27, 39
	32 Manufaturabilidade	28, 29 15, 16	1, 27 36, 13	1, 29 13, 17	15, 17 27	13, 1 26, 12	16, 40	13, 29 1, 40	35 8, 1	35, 13 35, 12	35, 19 1, 37	1, 28 13, 27	11, 13 1	
	33 Conveniência de uso	25, 2 13, 15	6, 13 1, 25	1, 17 13, 12	-	1, 17 13, 16	18, 16 15, 39	1, 16 35, 15	4, 18 39, 31	18, 13 34	28, 13 35	2, 32 12	15, 34 29, 28	32, 35 30
	34 Reparabilidade	2, 27 35, 11	2, 27 35, 11	1, 28 10, 25	3, 18 31	15, 13 32	16, 25	25, 2 35, 11	1	34, 9	1, 11 10	13	1, 13 2, 4	2, 35
	35 Adaptabilidade	1, 6 15, 8	19, 15 29, 16	35, 1 29, 2	1, 35 16	35, 30 29, 7	15, 16	15, 35 29	-	35, 10 14	15, 17 20	35, 16	15, 37 1, 8	35, 30 14
	36 Complexidade do dispositivo	26, 30 34, 36	2, 26 35, 39	1, 19 26, 24	26	14, 1 13, 16	6, 36	34, 26 6	1, 16	34, 10 28	26, 16	19, 1 35	29, 13 28, 15	2, 22 17, 19
	37 Complexidade no controlo	27, 26 28, 13	6, 13 28, 1	16, 17 26, 24	26	2, 13 18, 17	2, 39 30, 16	29, 1 4, 16	2, 18 26, 31	3, 4 16, 35	36, 28 40, 19	35, 36 37, 32	27, 13 1, 39	11, 22 39, 30
	38 Nível de automação	28, 26 18, 35	28, 26 35, 10	14, 13 17, 28	23	17, 14 13	-	35, 13 16	-	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32 11, 13	18, 1
	39 Produtividade	35, 26 24, 37	28, 27 15, 3	18, 4 28, 38	30, 7 14, 26	10, 26 34, 31	10, 35 17, 7	2, 6 34, 10	35, 37 10, 2	-	28, 15 10, 36	10, 37 14	14, 10 34, 40	35, 3 22, 39

Tabela A. 11 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 21-39 vs. Resultados Indesejados 14-26) (Adaptado de Altshuller, 2001)

Características			Resultados indesejados												
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Características a melhorar	21	Potência	26, 10 28	19, 35 10, 38	16	2, 14 17, 25	16, 6 19	16, 6 19, 37	-		10, 35 38	28, 27 18, 38	10, 19	35, 20 10, 6	4, 34 19
	22	Perda de energia	26	-	-	19, 38 7	1, 13 32, 15	-	-	3, 38		35, 27 2, 37	19, 10	10, 18 32, 7	7, 18 25
	23	Perda de massa	35, 28 31, 40	28, 27 3, 18	27, 16 18, 38	21, 36 39, 31	1, 6 13	35, 18 24, 5	28, 27 12, 31	28, 27 18, 38	35, 27 2, 31		-	15, 18 35, 10	6, 3 10, 24
	24	Perda de informação	-	10	10	-	19	-	-	10, 19	19, 10	-		24, 26 28, 32	24, 28 35
	25	Perda de tempo	29, 3 28, 18	20, 10 28, 18	28, 20 10, 16	35, 29 21, 18	1, 19 26, 17	35, 38 19, 18	1	35, 20 10, 6	10, 5 18, 32	35, 18 10, 39	24, 26 28, 32		35, 38 18, 16
	26	Quantidade de matéria	14, 35 34, 10	3, 35 10, 40	3, 35 31	3, 17 39	-	34, 29 16, 18	3, 35 31	35	7, 18 25	6, 3 10, 24	24, 28 35	35, 38 18, 16	
	27	Fiabilidade	11, 28	2, 35 3, 25	34, 27 6, 40	3, 35 10	11, 32 13	21, 11 27, 19	36, 23	21, 11 26, 31	10, 11 35	10, 35 29, 39	10, 28	10, 30 4	21, 28 40, 3
	28	Precisão de medição	28, 6 32	28, 6 32	10, 26 24	6, 19 28, 24	6, 1 32	3, 6 32	-	3, 6 32	26, 32 27	10, 16 31, 28	-	24, 34 28, 32	2, 6 32
	29	Precisão de fabrico	3, 27	3, 27 40	-	19, 26	3, 32	32, 2	-	32, 2	13, 32 2	35, 31 10, 24	-	32, 26 28, 18	32, 30
	30	Factores prejudiciais que actuam sobre o objecto	18, 35 37, 1	22, 15 33, 28	17, 1 40, 33	22, 33 35, 2	1, 19 32, 13	1, 24 6, 27	10, 2 22, 37	19, 22 31, 2	21, 22 35, 2	33, 22 19, 40	22, 10 2	35, 18 34	35, 33 29, 31
	31	Efeitos colaterais prejudiciais	15, 35 22, 2	15, 22 33, 31	21, 39 16, 22	22, 35 2, 24	19, 24 39, 32	2, 35 6	19, 22 18	2, 35 18	21, 35 2, 22	10, 1 34	10, 21 29	1, 22	3, 24 39, 1
	32	Manufaturabilidade	1, 3 10, 32	27, 1 4	35, 16	27, 26 18	28, 24 27, 1	28, 26 27, 1	1, 4	27, 1 12, 24	19, 35	15, 34 33	32, 24 18, 16	35, 28 34, 4	35, 23 1, 24
	33	Conveniência de uso	32, 40 3, 28	29, 3 8, 25	1, 16 25	26, 27 13	13, 17 1, 24	1, 13 24	-	35, 34 2, 10	2, 19 13	28, 32 2, 24	4, 10 27, 22	4, 28 10, 34	12, 35
	34	Reparabilidade	11, 1 2, 9	11, 29 28, 27	1	4, 10	15, 1 13	15, 1 28, 16	-	15, 10 32, 2	15, 1 32, 19	2, 35 34, 27	-	32, 1 10, 25	2, 28 10, 25
	35	Adaptabilidade	35, 3 32, 6	13, 1 35	2, 16	27, 2 3, 35	6, 22 26, 1	19, 35 29, 13	-	19, 1 29	18, 15 1	15, 10 2, 13	-	35, 28	3, 35 15
	36	Complexidade do dispositivo	2, 13 28	10, 4 28, 15	-	2, 17 13	24, 17 13	27, 2 29, 28	-	20, 19 30, 34	10, 35 13, 2	35, 10 28, 29	-	6, 29	13, 3 27, 10
	37	Complexidade no controlo	27, 3 15, 28	19, 29 39, 25	25, 34 6, 35	3, 27 35, 16	2, 24 26	35, 38	19, 35 16	19, 1 16, 10	35, 3 15, 19	1, 18 10, 24	35, 33 27, 22	18, 28 32, 9	3, 27 29, 18
	38	Nível de automação	25, 13	6, 9	-	26, 2 19	8, 32 19	2, 32 13	-	28, 2 27	23, 28	35, 10 18, 5	35, 33	24, 28 35, 30	35, 13
	39	Produtividade	29, 28 10, 18	35, 10 2, 18	20, 10 16, 38	35, 21 28, 10	26, 17 19, 1	35, 10 38, 19	1	35, 20 10	28, 10 29, 35	28, 10 35, 23	13, 15 23	-	35, 38

Tabela A. 12 - Matriz de Contradições (Características a Melhorar 21-39 vs. Resultados Indesejados 27-39) (Adaptado de Altshuller, 2001)

Características		Resultados indesejados												
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Características a melhorar	21 Potência	19,24 26,31	32,15 2	32,2	19,22 31,2	2,35 18	26,10 34	26,35 10	35,2 10,34	19,17 34	20,19 30,34	19,35 16	28,2 17	28,35 34
	22 Perda de energia	11,10 35	32	-	21,22 35,2	21,35 2,22	-	35,32 1	2,19	-	7,33	35,3 15,23	2	28,10 29,35
	23 Perda de massa	10,29 39,35	16,34 31,18	35,10 24,31	33,22 30,40	10,1 34,29	15,34 33	32,28 2,24	2,35 34,27	15,10 2	35,10 28,24	35,18 10,13	35,10 18	28,35 10,23
	24 Perda de informação	10,28 23	-	-	22,10 1	10,21 22	32	27,22	-	-	-	35,33	35	13,23 15
	25 Perda de tempo	10,30 4	24,34 28,32	24,26 28,18	35,18 34	35,22 18,39	35,28 34,4	4,28 10,34	32,1 10	35,28	6,29	18,28 32,10	24,28 35,30	-
	26 Quantidade de matéria	18,3 28,40	13,2 28	33,30	35,33 29,31	3,35 40,39	29,1 35,27	35,29 25,10	2,32 10,25	15,3 29	3,13 27,10	3,27 29,18	8,35	13,29 3,27
	27 Fiabilidade		32,3 11,23	11,32 1	27,35 2,40	35,2 40,26	-	27,17 40	1,11	13,35 8,24	13,35 1	27,40 28	11,13 27	1,35 29,38
	28 Precisão de medição	5,11 1,23		-	28,24 22,26	3,33 39,10	6,35 25,18	1,13 17,34	1,32 13,11	13,35 2	27,35 10,34	26,24 32,28	28,2 10,34	10,34 28,32
	29 Precisão de fabrico	11,32 1	-		26,28 10,36	4,17 34,26	-	1,32 35,23	25,10	-	26,2 18	-	26,28 18,23	10,18 32,39
	30 Factores prejudiciais que actuam sobre o objecto	27,24 2,40	28,33 23,26	26,28 10,18		-	24,35 2	2,25 28,39	35,10 2	35,11 22,31	22,19 29,40	22,19 29,40	33,3 34	22,35 13,24
	31 Efeitos colaterais prejudiciais	24,2 40,39	3,33 26	4,17 34,26	-		-	-	-	-	19,1 31	2,21 27,1	2	22,35 18,39
	32 Manufaturabilidade	-	1,35 12,18	-	24,2	-		2,5 13,16	35,1,25 11,9	2,13 15	27,26 1	6,28 11,1	8,28 1	35,1 10,28
	33 Conveniência de uso	17,27 8,40	25,13 2,34	1,32 35,23	2,25 28,39	-	2,5 12		12,26 1,32	15,34 1,16	32,26 12,17	-	1,34 12,3	15,1 28
	34 Reparabilidade	11,10 1,16	10,2 13	25,10	35,10 2,16	-	1,35 11,10	1,12 26,15		7,1 4,16	35,1,25 13,11	-	34,35 7,13	1,32 10
	35 Adaptabilidade	35,13 8,24	35,5 1,10	-	35,11 32,31	-	1,13 31	15,34 1,16,7	1,16 7,4		15,29 37,28	1	27,34 35	35,28 6,37
	36 Complexidade do dispositivo	13,35 1	2,26 10,34	26,24 32	22,19 29,40	19,1	27,26 1,13	27,9 26,24	1,13	29,15 28,37		15,10 37,28	15,1 24	12,17 28
	37 Complexidade no controlo	27,40 28,8	26,24 32,28	-	22,19 29,28	2,21	5,28 11,29	2,5	12,26	1,15	15,10 37,28		34,21	35,18
	38 Nível de automação	11,27 32	28,26 10,34	28,26 18,23	2,33	2	1,26 13	1,12 34,3	1,35 13	27,4 1,35	15,24 10	34,27 25		5,12 35,26
	39 Produtividade	1,35 10,38	1,10 34,28	18,10 32,1	22,35 13,24	35,22 18,39	35,28 2,24	1,28 7,19	1,32 10,25	1,35 28,37	12,17 28,24	35,18 27,2	5,12 35,26	

Anexo B – Parâmetros Técnicos e Princípios Inventivos

Tabela B.1 - Parâmetros Técnicos ou de Engenharia segundo a TRIZ (adaptado de Navas, 2013b)

1	Peso (objeto móvel)	21	Potência
2	Peso (objeto imóvel)	22	Perda de energia
3	Comprimento (objeto móvel)	23	Perda de massa
4	Comprimento (objeto imóvel)	24	Perda de informação
5	Área (objeto móvel)	25	Perda de Tempo
6	Área (objeto imóvel)	26	Quantidade de matéria
7	Volume (objeto móvel)	27	Fiabilidade
8	Volume (objeto imóvel)	28	Precisão de medição
9	Velocidade	29	Precisão de fabrico
10	Força	30	Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto
11	Tensão, Pressão	31	Efeitos colaterais prejudiciais
12	Forma	32	Manufaturabilidade
13	Estabilidade do objeto	33	Conveniência de uso
14	Resistência	34	Manutenção
15	Durabilidade (objeto móvel)	35	Adaptabilidade
16	Durabilidade (objeto imóvel)	36	Complexidade do dispositivo
17	Temperatura	37	Complexidade no controlo
18	Claridade	38	Nível de automação
19	Energia dispensada (objeto móvel)	39	Produtividade
20	Energia dispensada (objeto imóvel)		

Tabela B.2 - Princípios Inventivos da TRIZ (adaptado de Navas, 2013b)

1	Segmentação	21	Corrida apressada
2	Extração	22	Conversão de prejuízo e proveito
3	Qualidade local	23	Receção
4	Assimetria	24	Mediação
5	Combinação	25	Auto-serviço
6	Universalidade	26	Cópia
7	Nidificação	27	Objeto económico com vida curta em vez de outro dispendioso e durável
8	Contrapeso	28	Substituição do sistema mecânico
9	Contra-ação prévia	29	Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos
10	Ação prévia	30	Membranas flexíveis ou películas finas
11	Amortecimento prévio	31	Utilização de materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogeneidade
14	Esfericidade	34	Rejeição e recuperação do estado físico ou químico
15	Dinamismo	35	Transformação do estado físico ou químico
16	Ação parcial ou excessiva	36	Mudança de fase
17	Transição para uma nova dimensão	37	Expansão térmica
18	Vibrações mecânicas	38	Utilização de oxidantes fortes
19	Ação periódica	39	Ambiente Inerte
20	Continuidade de uma ação útil	40	Materiais compósitos

Anexo C - Matrizes Idealidade dos Estudos de Caso

Tabela C.1 - Matriz Idealidade Inicial do Estudo de Caso Sandometal

	1	2	3	4	5	6
1. Organização geral da fábrica		-	+		-	
2. Gestão da Informação	-		-		-	-
3. Produtividade	+	-		+	-	+
4. Implementação de novos sistemas informáticos			+		-	
5. Custo com mão-de-obra	-	-	-	-		
6. Qualidade		-	+			

Tabela C.2 - Matriz Idealidade Após a Aplicação das Ferramentas Lean-TRIZ do Estudo de Caso Sandometal

	1	2	3	4	5	6
1. Organização geral da fábrica		+	+		-	+
2. Gestão da Informação	+		+	+	-	+
3. Produtividade	+	+		+	-	+
4. Implementação de novos sistemas informáticos		+	+		+	
5. Custo com mão-de-obra	-	-	-	-		
6. Qualidade	+	+	+			

Tabela C.3 - Matriz Idealidade Inicial do Estudo de Caso MFTE

	1	2	3	4	5	6
1. (Menos) Peso		-		+	+	-
2. (Mais) Capacidade Carga	-			-	-	-
3. (Mais) Ergonomia				+	-	
4. (Mais) Manobrabilidade	+	-	+		+	
5. (Menos) volume	+	-	-	+		+
6. (Mais) Estabilidade	-	-			+	

Tabela C.4 - Matriz Idealidade Após a Aplicação das Ferramentas TRIZ do Estudo de Caso MFTE

	1	2	3	4	5	6
1. (Menos) Peso		-	+	+	+	-
2. (Mais) Capacidade Carga	-			-	-	+
3. (Mais) Ergonomia	+			+	+	
4. (Mais) Manobrabilidade	+	-	+		+	
5. (Menos) volume	+	+	+	+		+
6. (Mais) Estabilidade	-	+			+	

Tabela C.5 - Matriz Idealidade Inicial do Estudo de Caso Dancake

	1	2	3	4	5	6
1. Produtividade		-	-	-	-	-
2. Disponibilidade	-		+		+	-
3. Manutibilidade	+	+			+	-
4. Mão-de-Obra	-					-
5. Custos de Manutenção	-	-	-			-
6. Outros Custos	-	-	-	-	-	

Tabela C.6 - Matriz Idealidade Após a Aplicação das Ferramentas TRIZ do Estudo de Caso Dancake

	1	2	3	4	5	6
1. Produtividade		-	-	-	+	-
2. Disponibilidade	-		+		+	-
3. Manutibilidade	+	+			+	-
4. Mão-de-Obra	+					-
5. Custos de Manutenção	+	+	-	+		-
6. Outros Custos	-	-	-	-	-	

Anexo D - Tabelas Comparativas dos Níveis de Idealidade Obtidos

Tabela D.1 - Tabela Comparativa Setor Tecnológico vs Dimensão

		Dimensão		
		Pequena	Média	Grande
Setor Tecnológico	Low Tech		DanCake 250%	
	Medium Tech			MFTE 512%
	High Tech	Sandomental 500%		

Tabela D.2 - Tabela Comparativa Nível de Lean vs Setor Tecnológico

		Setor Tecnológico		
		Low Tech	Medium Tech	High Tech
Nível de Lean	Inexistente			Sandomental 500%
	Baixo a Médio	DanCake 250%		
	Médio a Alto		MFTE 512%	

Tabela D.3 - Tabela Comparativa Nível de Lean vs Dimensão da Empresa

		Dimensão		
		Pequena	Média	Grande
Nível de Lean	Inexistente	Sandomental 500%		
	Baixo a Médio		DanCake 250%	
	Médio a Alto			MFTE 512%

Tabela D.4 - Tabela Comparativa Nível de Lean vs Número de Intervenientes no Processo

		Intervenientes	
		Poucos	Muitos
Nível de Lean	Inexistente	Sandomental 500%	
	Baixo a Médio		DanCake 250%
	Médio a Alto	MFTE 512%	

Tabela D.5 - Tabela Comparativa Setor Tecnológico vs Número de Intervenientes no Processo

		Intervenientes	
		Poucos	Muitos
Setor tecnológico	Low Tech		DanCake 250%
	Medium Tech	MFTE 512%	
	High Tech	Sandomental 500%	

Tabela D.6 - Tabela Comparativa Dimensão da Empresa vs Número de Intervenientes no Processo

		Intervenientes	
		Poucos	Muitos
Dimensão	Pequena	Sandomental 500%	
	Média		DanCake 250%
	Grande	MFTE 512%	